

Universidad de México

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO

Agosto, 1989

463

*Poemas de Gerardo Deniz
y Alberto Blanco*

*La luz
irrumpe
en la*

sombra.

*Doce poetas
mexicanos*

CAOS
Y OSCURIDAD
EN LA MATERIA

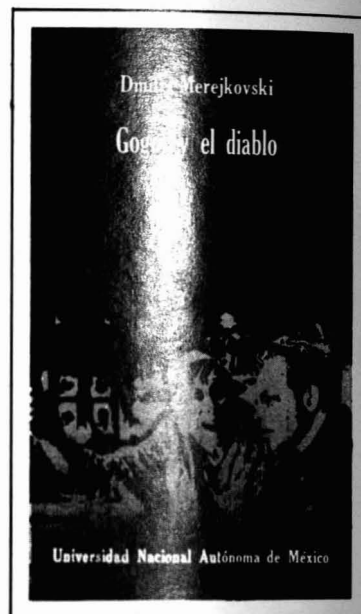
La línea de sombra



Iwaskiewicz



Schulz



Merejkovski

LECTURAS HETERODOXAS ABSOLUTAMENTE IMPRESCINDIBLES



Universidad de México

Director: Fernando Curiel Editor en Humanidades: León Olivé Editor en Ciencias: Miguel José Yacamán

Consejo Editorial: José Luis Ceceña, Beatriz de la Fuente, Margo Glantz, Ruy Pérez Tamayo, Sergio Pitlor, Arcadio Poveda, Luis Villoro.

Secretario de Redacción: Vicente Quirarte. Producción: Héctor Orestes Aguilar. Corrección: Adriana Pacheco. Asistente de Producción: Leticia Santín.
Promoción: Martha Huizar. Administración: Humberto Rodríguez. Relaciones Públicas: Silvia Ruiz-Vázquez. Asistente Editorial: Natalia Henríquez Lombardo

Diseño: Bernardo Recamier / Fotografía de portada: Jorge Pablo de Aguinaco

Coordinación de Humanidades

Oficinas: Edificio anexo de la antigua Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Primer piso. Ciudad Universitaria. Apartado Postal 70288, C.P. 04510 México, D.F.
Tel. 550-5559 y 548-4352. Correspondencia de Segunda Clase. Registro DGC - Núm. 061 1286 Características 22 866 11212

Fotocomposición y formación: Redacta, S.A. Impresión: Impresora Roma, S.A., Tomás Vázquez 152, Col. Moderna, México, D.F.

Precio del ejemplar: \$ 2 500.00. Suscripción anual: \$ 25 000.00 (U.S. \$80.00 en el extranjero). Periodicidad mensual. Tiraje de seis mil ejemplares.
Esta publicación no se hace responsable por textos no solicitados. Cada autor es responsable del contenido de su propio texto

Universidad de México

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Volumen XLIV, número 463, agosto 1989

ÍNDICE

2 Presentación

Gerardo Deniz 3 Centinela

Luis Estrada 4 ¿Qué es la materia?

Luis de la Peña y Ana María Cetto 11 Algo de luz sobre la materia

Miguel José Yacamán 15 Los cuasicristales: nuevos conceptos
de la física y viejos conceptos del arte

Rafael Pérez Pascual 19 El caos determinista: los límites
de la predicción científica

Tomás Brody 23 Los determinismos de la física

León Olivé y Ana Rosa Pérez Ransanz 30 Los cambios conceptuales de la física

Alberto Blanco 36 Singularidad

Arcadio Poveda 38 Materia oscura o...
¿De qué está hecho el Universo?

Marcos Moshinsky 42 En el trigésimo
aniversario de los brashinskets

Silvia Ruiz-Vázquez 44 La física es una ciencia viva

Carlos F. Bunge 47 Átomos y moléculas

51 La luz irrumpe en la
sombra.

Doce poetas mexicanas

Martha Fernández 57 Ciudad de México: sismos y monumentos

Louise Noelle 63 La destrucción de la arquitectura
en nuestro tiempo

Manuel González Galván 65 Agonías de arquitectura y urbanismo

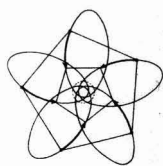
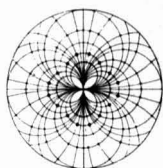
Miscelánea

Juan Villoro 70 La ciudadela asaltada

José Francisco Conde Ortega 71 Crónica de una existencia presurosa

Roger Colom 73 Entre ficción y realidad

José Homero 73 Las fronteras de la voz



Presentación

En la última entrevista concedida por el doctor Tomás A. Brody —el texto de la cual aquí reproducimos—, el investigador universitario insistía en la necesidad de que los científicos tomaran la pluma y escribieran, en lenguaje accesible, sobre sus trabajos y sus días. El presente número es, por tanto, un homenaje a ese anhelo de Brody, y a su labor ejemplar en beneficio de la ciencia y su divulgación: en memoria de su desaparición física, ocurrida hace cerca de dos años, colegas suyos de diversas disciplinas enfrentan, con sus respectivos instrumentos y perspectivas, las teorías y descubrimientos más actuales sobre la materia. Sus conclusiones nos convencen una vez más de que las fronteras entre el conocimiento científico y la realidad cotidiana son tan sutiles que en ocasiones desaparecen. De tal manera, los artículos aquí reunidos son una doble invitación: al científico, para que mediante la escritura nos introduzca en dominios que no por complejos dejan de ser comunicables, y al lector, para que se asome a los misterios de un mundo que no deja de asombrarnos. ♦

Agradecemos al doctor Miguel José Yacamán su colaboración para elaborar el presente número.

Centinela

Gerardo Deniz

Tal como un delincuente se hace tatuar los nombres
y las lecciones clave de su carrera:
igual va este atardecer abusivo, abusivo.
Luego en la noche tofana centellearán moxas medicinales
y yo me estaré siendo una plancha achacosa,
de aquellas con brasas interiores. En mi garita.

Es —me repito— cuestión de probabilidades
y, esperando lo bastante, todo acabará por acontecer:
fue así como hirvieron las ollas olímpicas del padre de Pisístrato,
como se volvió hielo la sopa del viejo emperador Ingio
sin infringir la segunda ley de la termodinámica.
Situaciones poco frecuentes, si se desea. Nada más.
Hoy, por tanto, vigilo. Es un poco angustioso:
¿quién vive? ¿divergencia o curl?
¿pez de agua o pez de mierda?

Tal vez vaya yo a ser feliz. ♦

¿QUÉ ES LA MATERIA?

Luis Estrada

Reflexionar acerca de la materia es un interesante desafío. Por una parte se trata de volver a un tema que siempre ha apasionado al hombre; por otra, es una invitación a pensar en todo, especialmente cuando el tema se plantea desde el punto de vista de la ciencia. El mundo en que vivimos es material. Lo que nuestros sentidos perciben es materia. Buscando excepciones quizá pensemos en el mundo sonoro, aunque un rápido análisis nos confirmará que oímos gracias al aire en el que vivimos sumergidos. Nuestro cuerpo es material y si nos alejamos de nosotros mismos nuestro conocimiento, lejos de cambiar, se afirma. Todo es materia.

Lo anterior no debe tomarse como la declaración de que el mundo material agota al universo humano. Al escribir eso no he olvidado a la imaginación, a la poesía, al amor y a tantas otras cosas que enorgullecen al ser humano. Sin embargo el tono que he empleado para iniciar este escrito es el que debo tomar para considerar a la materia como lo hacen los científicos. Aclaro que me refiero a los científicos dedicados a la ciencia natural y la base de lo que sigue está en la hipótesis de que la sustancia de que todo está hecho es la materia. Por lo tanto, es claro que este escrito podría también haberse titulado "La estructura del Universo", o bien, "¿De qué están hechas las cosas que considera la ciencia?"

Mi tema es pues resumir lo que sabemos acerca de la estructura de la materia y mi conclusión será que ésta está formada por partículas fundamentales, por lo que mi tarea consistirá en explicar esta conclusión. Como se trata de una labor muy ambiciosa, lo que haré será presentar algunas reflexiones acerca de nuestro conocimiento del Universo para orientar al lector en el tema, dejando que los otros colaboradores de este número detallen y precisen algunos aspectos particulares de ese conocimiento. Empezaré por hacer algunas aclaraciones.

La organización de lo que sabemos

Todo mundo sabe ahora que las cosas están hechas unas de otras. La vida actual, especialmente la urbana, hace que desde pequeños sepamos que lo que nos rodea son productos elaborados. Lo que poco a poco vamos aprendiendo es de qué están hechos esos productos y para comprenderlos mejor, tarde o temprano, deberemos organizar este conocimiento. La organización puede seguir varios criterios y casi siempre ocurre que tomemos como base el tamaño de las cosas, ya que es común pensar que lo grande está formado por partes pequeñas. Aunque este criterio es ingenuo para nuestros propósitos, lo aprovecharé para esbozar una primera organización de lo que forma el Universo.

La clasificación de objetos por su tamaño se hace tomando como medida nuestra propia dimensión. Así lo grande es el Universo astronómico ya que en él hay estrellas y otros objetos que sabemos que son mucho mayores que nosotros. El mundo pequeño está compuesto por objetos que no podemos ver a simple vista y que conocemos gracias a los microscopios. Los ejemplos que primero vienen a la mente son los virus y las bacterias, aunque muchos pensarán en átomos y moléculas. (Cabe aquí recordar que una bacteria es algo así como un millón de veces mayor que un átomo.) Finalmente hay que considerar los objetos de tamaño medio, esto es, aquellos cuya dimensión es semejante a la nuestra, como son los que usamos en la vida diaria. Cabe señalar que aún con esta simple clasificación hay problemas que resol-

ver; aunque estaríamos de acuerdo con que el agua, el aire y la arena son objetos de tamaño medio, habrá que pensar bien cómo aplicar el criterio del tamaño para justificar tal acuerdo. La noción de tamaño no es obvia cuando se trata de líquidos o de gases.

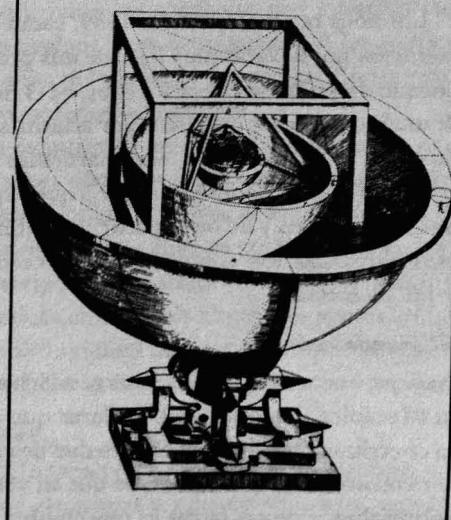
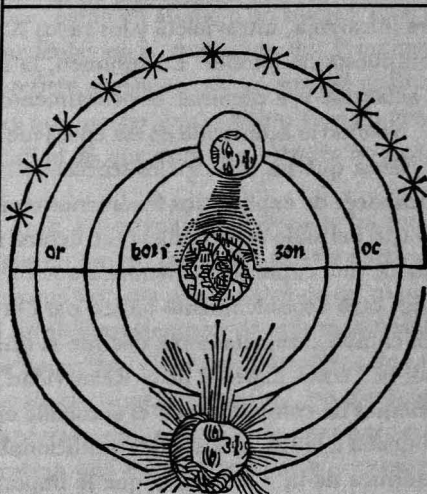
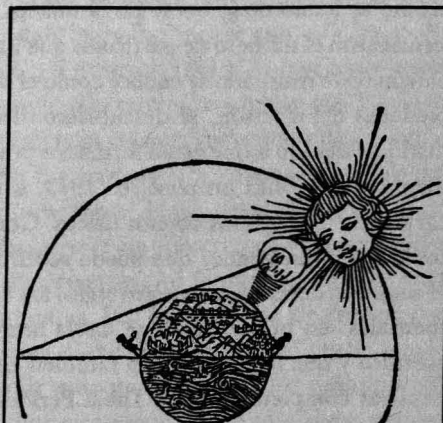
Otro criterio para organizar la estructura del Universo es distinguir lo complejo de lo simple. Este criterio requiere de un mayor conocimiento de la naturaleza de las cosas y hay que cuidar de su aplicación para no caer en tautologías. Sin embargo, en la práctica actual se emplea con buen éxito: una casa es un objeto complejo compuesto de ladrillos, concreto, madera, etcétera. Los productos industriales pueden describirse como una lista de partes y para dar un ejemplo considérese un automóvil. La cocina es uno de los mejores ejemplos de la reducción de lo complejo a lo simple ya que está organizada a partir de una colección de ingredientes básicos.

La ciencia ha organizado su conocimiento del Universo construyendo niveles diferentes que forman una jerarquía: cada nivel de organización es más complejo que el anterior. Lo más importante de este procedimiento es que hay uno simple y su descripción es el tema principal de este artículo. Antes de continuar debo recordar aquí que la ciencia está constituida por varias disciplinas que se formaron a partir del estudio de un aspecto particular del Universo y que cada una de ellas ha desarrollado su propio método de trabajo. De acuerdo con la tradición estas disciplinas son la astronomía, las ciencias de la Tierra, la química, la biología y la física. Cada una de estas disciplinas ha construido sus propios niveles de organización y ha establecido su jerarquía. *Grosso modo* estos son los siguientes: la astronomía considera tres niveles: el Universo en su totalidad, las galaxias y las estrellas y nos enseña que las galaxias son las componentes básicas del Universo y que las galaxias están formadas por estrellas. Los químicos dividen los objetos que estudian en elementos y compuestos y clasifican a los primeros mediante la Tabla Periódica. Los biólogos consideran un primer nivel formado por las plantas y los animales, un segundo compuesto por las células y un tercero integrado por las moléculas que forman a las células. Para los físicos los cuerpos están formados por moléculas o por átomos siendo estos últimos sistemas de electrones unidos por un núcleo atómico; los núcleos están formados por protones y neutrones y éstos son compuestos, como veremos más adelante. Para mis propósitos estos niveles con su jerarquía son los más convenientes, por lo que, en lo que sigue, cuando mencione la organización del conocimiento del Universo me referiré a la empleada por los físicos.

Un poco de historia

La idea de que hay una materia simple de la que todo lo demás resulta por combinaciones apropiadas es tan antigua como la humanidad. Las primeras explicaciones de este tipo que conocemos provienen de la antigua Grecia, en donde algunos filósofos propusieron su noción de materia prima. Para Demócrito y Epicuro ésta estaba formada por átomos, pequeñas partículas indivisibles dotadas de movimiento, mientras que para Empédocles y Aristóteles lo básico eran los cuatro elementos. Los científicos del siglo XIX fueron quienes empezaron a construir la teoría atómica moderna y siguieron dos vertientes: los físicos imaginaron a un gas como una colección de partículas pequeñas en rápido movimiento y construyeron la Teoría Cinética de los Gases. Los químicos atacaron el problema buscando los elementos que forman las sustancias y sus esfuerzos fueron coronados por el descubrimiento de la Tabla Periódica de los Elementos. Antes de llegar a una síntesis de esos dos logros hubo nuevos descubrimientos que abrieron otros horizontes, al mismo tiempo que creaban problemas para lograr la síntesis buscada. Los más relevantes fueron el descubrimiento de la radioactividad, de los rayos X y del electrón.

Al iniciarse el siglo XX no todos los científicos estaban convencidos de que la materia exhibía una estructura atómica. Sin embargo los avances siguieron acelerándose. Max Planck descubrió que un emisor térmico ideal radiaba en porciones que eran múltiplos de una cantidad elemental, cuando la teoría correspondiente predecía que la radiación debía efectuarse de manera continua. Posteriormente Albert Einstein encontró que la luz también tiene estructura "atómica" por lo que muy



pronto se habló de fotones. En la misma época se realizaron experimentos que determinaron el número de partículas que hay en una porción de gas considerada como patrón (este resultado se conoce como el número de Avogadro), se midieron las propiedades del electrón, se descubrieron los isótopos (elementos químicos con pesos distintos debido a que están formados por núcleos atómicos diferentes) y, principalmente, Niels Bohr propuso, en 1913, un modelo de átomo que explicaba bien las características de esos objetos físicos. Como resultado de todos estos descubrimientos se logró un avance que puede resumirse diciendo que, antes de que terminara el segundo decenio de nuestro siglo, los científicos habían logrado dos éxitos fundamentales: en primer lugar se había aceptado que la materia tiene una estructura atómica y que los átomos son también compuestos. Con esta información se puede explicar completamente la Tabla Periódica de los Elementos, por lo que la fundamentación de la química quedó a cargo de la física. El segundo éxito logrado por los científicos fue que la luz, que es una parte de una familia mayor conocida como la radiación electromagnética, en la que también están comprendidas las radiaciones infrarroja, ultravioleta y los rayos X, tiene también estructura "atómica": está compuesta de fotones. En resumen, la idea de la estructura de la materia empezó a aclararse y a dominar el pensamiento de los científicos.

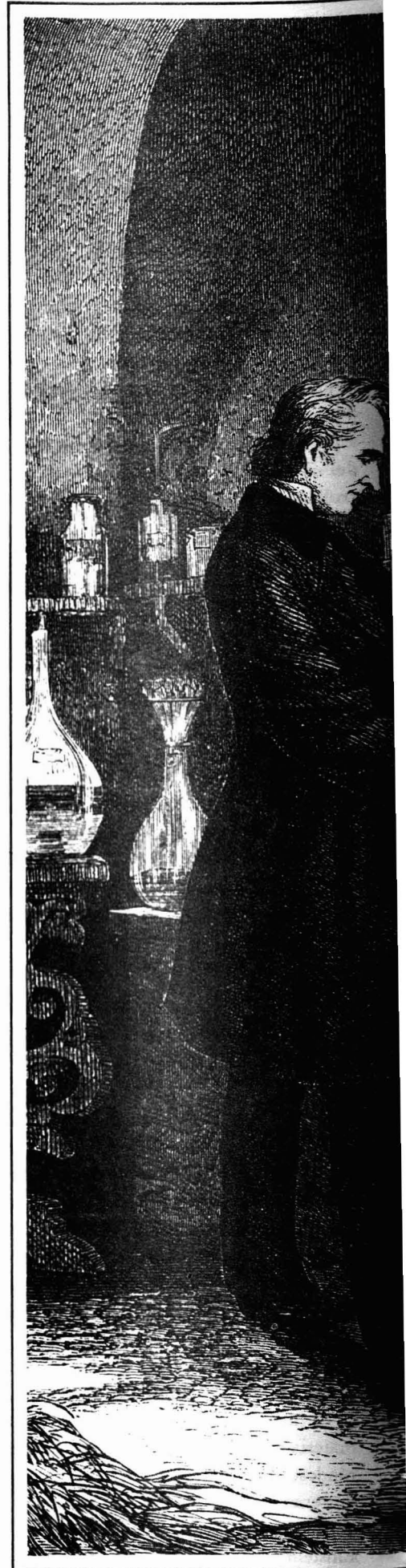
No todo lo acontecido en esa época fue un éxito. Desde el descubrimiento de Planck se sabía que las principales teorías de la física existentes hasta ese momento eran incapaces de explicar los fenómenos recién descubiertos. Así, al terminar el primer cuarto del siglo se admitía la estructura atómica de la materia, aunque no se disponía de una explicación científica que fundamentara su existencia. Debo mencionar aquí otro acontecimiento básico para la comprensión del Universo que sucedió en un campo completamente distinto al que nos ocupa, aunque influyó en su desarrollo: la Teoría Especial de la Relatividad, que Einstein publicó en 1905. Esta teoría, además de complicar más el ambiente científico del momento, ya que también modificaba a la física existente, condicionaba más la construcción de la esperada teoría atómica de la materia, ya que le imponía que fuera consistente con la posibilidad de la transformación de masa en energía.

La teoría atómica de la materia fue posible al iniciarse el segundo cuarto del siglo cuando Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger y Paul Dirac inventaron la Mecánica Cuántica. Más adelante delinearé los rasgos principales de esa teoría pues debo terminar la brevísima historia a la que he dedicado esta sección. Entre 1926 y 1950 se descubrió que el electrón posee una característica muy extraña: tiene espín, lo que ocasiona que se comporte como si fuera un pequeño imán. Se descubrió también que hay antipartículas al conocerse la existencia del positrón (partícula que, excepto porque tiene carga positiva, presenta las mismas características que el electrón). Esta partícula fue la primera de una serie descubierta en el mismo periodo: al positrón siguieron el neutrón y los mesones pi y mu. Estas partículas contribuyeron a establecer que el núcleo atómico también presenta estructura "atómica" con lo que se consolidó la naciente física nuclear.

Los años recientes, 1950 a 1989, están llenos de descubrimientos cuya sola enumeración nos llevaría muy lejos de mis propósitos. Lo único que mencionaré, y esto porque después me referiré a ellos, es el descubrimiento de los cuarks. Éste se logró después de muchos esfuerzos por aclarar si las componentes del núcleo atómico, los protones y los neutrones, eran partículas fundamentales. Alrededor de 1964, Murray Gell-Mann elaboró una teoría que explica la estructura interna de los protones, de los neutrones y de otras partículas subnucleares. De acuerdo con esa teoría todas esas partículas son compuestas, así como lo son los núcleos atómicos, los átomos y las moléculas.

El mundo cuántico

Aunque mencioné a Heisenberg, a Schrödinger y a Dirac como los creadores de la Mecánica Cuántica, debo aclarar que ésta es una obra colectiva que requirió de la contribución de una gran variedad de esfuerzos personales y de muchos años para ser construida, y puede decirse que su versión actual no es anterior a 1950. Lo más sobresaliente de esa teoría es que emplea un nuevo concepto de partícula, construi-





do a partir de la observación del comportamiento de los objetos microscópicos, en especial de los fotones y de los electrones. Este logro fue posible gracias a los avances de la física realizados a fines del siglo XIX y a principios del XX, que antes enumeré. Se realizaron entonces experimentos que mostraron claramente que los fotones y los electrones no pueden ser considerados como las partículas que elaboró la física clásica. Para empezar, la noción de fotón fue propuesta a principios de este siglo.

La comparación del comportamiento observado de los electrones y los fotones mostró más semejanzas entre estas partículas que las que eran de esperarse del conocimiento derivado de la física clásica. Por ejemplo, los fotones, como los electrones, muestran individualidad: se pueden contar. Por otro lado los electrones, como los fotones, tienen propiedades ondulatorias. Cabe recordar que se puede emplear cualquiera de esas partículas para construir microscopios y que los más poderosos de esta época funcionan con electrones. Por esta razón, en lo que sigue emplearé la palabra partícula en el sentido de la Mecánica Cuántica, esto es, la usaré para denominar a los objetos microscópicos como los electrones, los fotones o las componentes de un cuerpo con estructura atómica, como un átomo o un núcleo. Con esto presente diré que cuando se habla de partículas en el enunciado del Principio de Indeterminación de Heisenberg, uno se refiere a objetos que no son las partículas de la física clásica y a ellos es a quienes hay que asociar una posición y un momento. El resultado es que no hay ninguna dificultad en que estas magnitudes no puedan ser medidas simultáneamente.

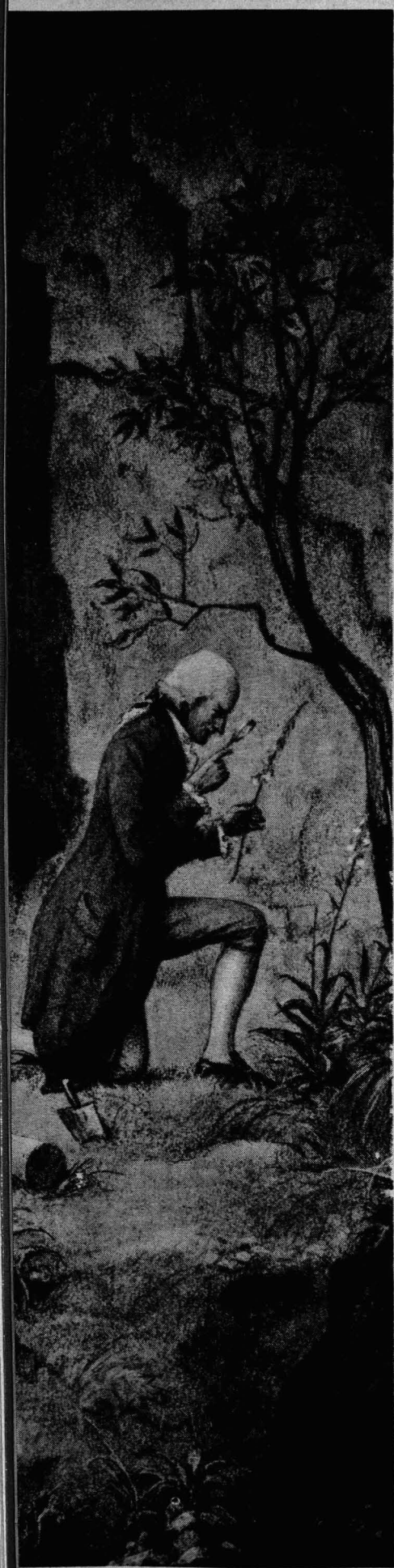
Hasta este momento he subrayado la gran semejanza que hay entre los fotones y los electrones, en parte para resaltar que en ambos casos se trata de partículas. Debo ahora hablar de sus diferencias, máxime que son dominantes en las manifestaciones más usuales de esas partículas. Los mejores ejemplos de esas manifestaciones son la luz y los haces electrónicos que hacen funcionar los cinescopios de nuestros televisores. En estos casos los fotones y los electrones parecen ser completamente diferentes. La explicación está en el comportamiento colectivo de esas partículas: los fotones son "sociables", esto es, muestran una enorme tendencia a reunirse y a cooperar mientras que los electrones se comportan de manera opuesta: son "individualistas" ya que no pueden ocupar el mismo "lugar" al mismo tiempo. Esta propiedad constituye el Principio de Exclusión, descubierto por Wolfgang Pauli en 1925, que es el responsable de la estructura de los átomos. En éstos los electrones se acomodan de manera que cada uno ocupa su "lugar". Así el átomo forma una estructura estable que puede visualizarse como una sucesión de capas superpuestas. Estas capas sustituyen ahora a las órbitas electrónicas que Bohr imaginó cuando propuso su modelo planetario del átomo.

El comportamiento colectivo de las partículas que acabo de mencionar, es otra de las características que la Mecánica Cuántica incluye en su noción de partícula. Esta característica es esencial ya que se sabe ahora que las partículas sólo pueden comportarse de alguna de las dos maneras antes descritas: o son "sociables" como los fotones, o son "individualistas" como los electrones. Una manera más técnica de decir esto estaría basada en distinguir entre las partículas que cumplen con el Principio de Exclusión y las que no lo acatan. Para distinguirlas, a las partículas del primer tipo se les llama bosones y a las del segundo, fermiones. En síntesis las partículas del mundo microscópico son bosones o fermiones.

Otra característica de la descripción cuántica de los fenómenos naturales es que es probabilística. Así, cuando se desea saber dónde está una partícula, la Mecánica Cuántica sólo nos permitirá conocer la probabilidad que hay de encontrarla en cada lugar posible. Esta peculiaridad conmocionó a todos cuando empezó a saberse y todavía hay quienes no la aceptan. La descripción probabilística de las partículas está muy relacionada con que éstas son idénticas entre sí (los electrones son todos iguales, por ejemplo), por lo que resultan indistinguibles para propósitos de su observación. Lo que podemos saber de ellas es cuántas hay en la región que estudiamos.

La materia: su historia y sus componentes

He dicho que el material que forma el Universo está compuesto por átomos o por moléculas, que éstos están formados por electrones y núcleos atómicos, que estos



últimos están hechos de protones y de neutrones, los cuales, a su vez, están formados por los cuarc. Hasta donde sabemos estos últimos son indivisibles como lo son los electrones, por lo que nuestro deseo parece haberse cumplido: los cuarc y los electrones son los "átomos" modernos y la materia está hecha de ellos. Debo aclarar que estoy simplificando mucho las cosas ya que sólo pretendo esbozar un panorama de lo que ahora sabemos. Para mejorar ese panorama y explicar más la estructura que acabo de describir consideraré otro aspecto de la materia: su duración. Los materiales que ahora conocemos no han existido siempre. Si pensamos en la madera, sabemos que hubo una época en que no existía, ya que la vida vegetal se inició en un momento dado. Las rocas y los minerales también cuentan con cierta edad, ya que la Tierra tuvo un principio. Mas todavía, las estrellas también nacen. La ciencia ha descubierto que la secuencia que mencioné para describir la estructura de la materia es la que siguió el Universo en su formación. Describiré ahora, a grandes rasgos, la historia de la materia, esto es, la del Universo.

A partir de la Gran Explosión que creó el Universo, hubo una serie de procesos "cataclísmicos" que hicieron que el Universo, al cumplir su cien mil quintillonésimo de segundo de edad, fuera una "sopa de cuarc", contaminada por una gran cantidad de electrones, neutrones, fotones y sus respectivas antipartículas. Hubo que esperar hasta que el Universo cumpliera un centésimo de segundo para que empezaran a formarse los protones y los neutrones. Cuando habían pasado un poco más de tres minutos de la Gran Explosión, aparecieron los primeros núcleos que después formarían los átomos y las moléculas. De esta brevísima historia que acabo de hacer sólo necesito detallar un poco más lo último. El Universo astronómico empezó cuando hubo disponibles núcleos simples: el del Hidrógeno y el del Helio. *Grosso modo* puede decirse que la materia del Universo era entonces: núcleos de Hidrógeno y de Helio, electrones, fotones y neutrinos y que esta situación duró un buen tiempo (unos 700 000 años). Después los núcleos empezaron a formar átomos y gracias a la fuerza de gravedad, la materia empezó a coagularse para originar estrellas y galaxias. Esto sucedió aproximadamente hace unos diez mil millones de años. La vida se originó en la Tierra hace tres mil quinientos millones de años y desde entonces existe casi toda la materia que ahora conocemos.

Fue hasta principios de este siglo cuando empezaron a añadirse otras sustancias al Universo, ya que empezaron a fabricarse los materiales sintéticos. Primero fue la baquelita, algunos decenios después el hule sintético, luego los plásticos y ahora sería interminable tan sólo enumerar los nombres de los nuevos materiales. Como grandes familias de materiales en los que hay más nuevos miembros mencionaré solamente a los polímeros, a las cerámicas, a los cristales líquidos, y a los metales orgánicos. Algunos materiales se denominan en relación a sus propiedades, por lo que se habla de los semiconductores y de los superconductores y entre éstos también hay nuevos elementos. Lo aquí importante es notar que el número de sustancias que forman el Universo sigue aumentando.

He delineado cómo entendemos la estructura de la materia: está organizada en forma jerárquica y cualquier material puede reducirse a átomos, éstos a núcleos, que están hechos de protones y neutrones y éstos de los cuarc. Repito nuevamente que mi relación es muy simplificada y debo precisarla más explicando ahora qué es lo que une a esas partículas. El pegamento en los niveles atómico y molecular es la fuerza electromagnética: los núcleos son objetos electrizados y los electrones también, por lo que se atraen y forman sistemas ligados. Las fuerzas que estructuran las moléculas son también de carácter electromagnético, aunque en general no se presentan en la forma tan directa como aparecen en el caso atómico. No es éste el lugar para detallar las diversas formas que toma la fuerza electromagnética para armar las moléculas. Lo importante es que los mundos atómico y molecular son posibles gracias a la fuerza electromagnética.

En el caso nuclear las cosas son diferentes y la responsabilidad de la estructura recae en dos fuerzas: la nuclear y la débil. Respecto a la ligadura de los protones y los neutrones para formar núcleos, la fuerza importante es la nuclear y ésta actúa entre los cuarc. Tampoco puedo entrar aquí en los detalles que conocemos acerca

de estas fuerzas y sólo mencionaré dos hechos importantes: el primero es que las partículas que componen un material están unidas por una fuerza. Por ejemplo, los electrones están ligados a los núcleos atómicos gracias a la fuerza electromagnética, ya que son partículas cargadas eléctricamente. El mismo patrón se repite en todos los casos: las partículas se unen para formar un compuesto gracias a que hay una fuerza que causa esa unión. El segundo hecho es que las fuerzas, como la materia, también se pueden reducir a un conjunto básico, en este caso, de fuerzas fundamentales. Ahora sabemos que hay cuatro: la fuerza electromagnética, la nuclear, la débil y la gravitacional. Cualquier otra fuerza puede entenderse en términos de alguna de éstas o de la combinación de algunas de ellas.

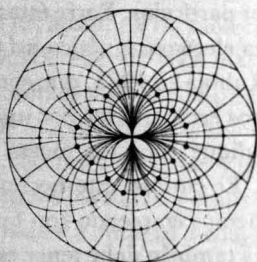
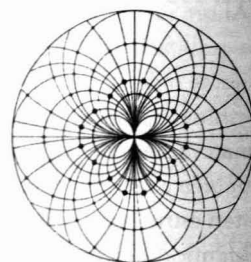
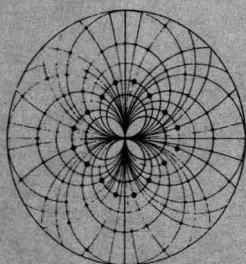
El estudio de las fuerzas fundamentales es una parte esencial del conocimiento de la materia. Acabo de mencionar que sabemos que sólo hay cuatro y debo añadir que también conocemos que tres de ellas, la electromagnética, la nuclear y la débil presentan estructura "atómica", la cual se describe también con ayuda de la Mecánica Cuántica. Según esta disciplina las partículas se unen mediante un agente físico que existe junto con ellas. Es justo aclarar que este agente empezó a estudiarse desde el siglo pasado y fue denominado campo. Así, Jame C. Maxwell construyó la Teoría Electromagnética explicando las atracciones y repulsiones de los cuerpos electrizados como el resultado de que éstos estaban sujetos a un campo: el campo electromagnético. Lo que la Mecánica Cuántica añadió a este conocimiento es que este campo también tiene estructura: está formado por partículas. Entre éstas se cuentan los fotones, que son los responsables de la fuerza electromagnética así como las partículas llamadas W y Z, descubiertas por Carlo Rubbia en 1983, que son las causantes de la fuerza débil. En el caso de los cuarc, éstos están unidos por una familia de partículas llamadas gluones y, como ya antes indiqué, hay una fuerza cuya estructura todavía ignoramos: la fuerza gravitatoria. Es curioso este hecho, ya que esta fuerza fue la primera que conocimos y la que hemos empleado con buen éxito para describir el Universo en grande. Se cree que ella también debe tener estructura "atómica" y que podrá entenderse en términos de gravitones. Sin embargo esto es todavía una hipótesis. Lo que además podemos asegurar es que las partículas que forman las fuerzas, esto es, el fotón, la W, la Z y los gluones son bosones, mientras que los cuarc y los electrones son fermiones. Por lo tanto, para redondear el panorama de la estructura de la materia que estoy presentando, hay que añadir la estructura de las fuerzas y cambiar la idea de que las partículas se unen para formar compuestos gracias a la acción de una fuerza, por el nuevo conocimiento de que los fermiones interactúan entre sí mediante un intercambio de bosones. El lector habrá notado ya que se trata de un cambio muy radical. Antes se pensaba en materia y fuerzas que la estructuraban. Ahora las explicaciones se dan en términos de fermiones y bosones. La materia prima del Universo, que incluye su "pegamento", está constituida únicamente por partículas.

Simplificando más la descripción de la estructura de la materia, resumiré lo dicho de la manera siguiente: los cuarc, gracias a la fuerza nuclear, se unen para formar protones y neutrones y éstos, con ayuda de la misma fuerza estructuran los núcleos atómicos. Con estos últimos y con electrones y fuerzas electromagnéticas, se forman los átomos y las moléculas, ingredientes que componen todo lo que conocemos del Universo. He introducido también una estructura "atómica" en las fuerzas fundamentales: los gluones son los "átomos" de la fuerza nuclear y los fotones son los correspondientes de la fuerza electromagnética. Así un protón es un sistema compuesto por tres cuarc unidos por la acción de los gluones y un átomo de hidrógeno es un electrón ligado a un protón gracias a los fotones. La materia prima del Universo está formada por partículas fundamentales entre las que se cuentan los cuarc, los electrones, los fotones y los gluones. Otras partículas fundamentales son menos relevantes para una imagen tan simplificada como la que aquí he presentado. Lo esencial de la descripción del Universo es que hay objetos simples que nos permiten entender un mundo complejo. La materia está formada por "átomos", aunque nuestro concepto actual de "átomo" es completamente distinto del que teníamos hace apenas unos años. ♦



ALGO DE LUZ SOBRE LA MATERIA

Luis de la Peña y Ana María Cetto



1. ¿Es materia la luz?

Pocas preguntas tan breves y llanas como ésta permiten tan de golpe vislumbrar los profundos cambios que el concepto de materia (y el de luz) ha ido sufriendo con el desarrollo del conocimiento físico en los últimos tres o cuatro siglos. No es nuestra intención revisar aquí con detalle esta cuestión, por mucho que nos pueda servir de ejemplo para desarrollar algunas ideas en torno a las nociones que de la materia y su comportamiento a nivel fundamental nos brinda la física contemporánea. Sin embargo, vale la pena recordar brevemente que en la *Óptica* que Isaac Newton escribió como resultado de sus muchos años de observación y experimentación con la luz —obra con la que creó la ciencia de la óptica, así como con sus *Principia Mathematica* creó la mecánica clásica—, el autor argumenta que la luz debe entenderse como compuesta por pequeñísimos corpúsculos que viajan por el vacío —o a través del aire o de algún medio transparente. Autor también de la Teoría de la Gravitación Universal, Newton intuyó que sus corpúsculos luminosos deben ser afectados por los campos gravitatorios y predijo a partir de ello el fenómeno de la desviación de la luz por las estrellas.¹

¹ El famoso experimento mediante un eclipse solar realizado durante el año de 1919 para comprobar la Teoría General de la Relatividad tenía una intención enteramente similar: medir la desviación de la luz que pasa rasan-do una estrella. La diferencia es —y en esto reside la importancia de su realización— que la teoría de Einstein predice un ángulo de desviación do-

En esta visión, que reinó hasta el siglo XIX, la luz es materia capaz de viajar por el vacío. Por justicia debemos añadir que el propio Newton moduló su teoría, para proponer finalmente que entendiéramos la luz como un complejo constituido por corpúsculos muy particulares, cuya propagación genera una vibración —una onda— que los acompaña y es parte integral del fenómeno luminoso. Sin embargo, este aspecto fue básicamente dejado de lado por sus continuadores, a favor de una interpretación puramente corpuscular.

A principios del siglo pasado algunos experimentadores —entre quienes destaca el físico y médico inglés Thomas Young (1773-1829)— demostraron la existencia de fenómenos luminosos que *sólo* pueden entenderse considerando la luz como una onda viajera.² Estos y otros trabajos —como los del francés Augustin Fresnel (1788-1827), quien desarrolló la correspondiente descripción teórica— condujeron a los físicos a considerar finalmente la luz como un fenómeno ondulatorio. Pero si la luz es una onda que puede viajar por el vacío —por ejemplo, por los grandes espacios intersiderales— y una onda es una vibración de *algo*, entonces el vacío debe contener ese *algo*: ¡la luz ha dejado de ser

ble del que da la teoría newtoniana. El experimento confirmó, como es bien sabido, la predicción relativista. Pero también confirmó el alcance de la profunda visión de Newton.

² Por ejemplo, si se hace coincidir dos haces luminosos que provienen de sendas rendijas delgadas, se produce un patrón con zonas en que *no* hay luz, alternadas con zonas luminosas. Este es un fenómeno típicamente ondulatorio (y llamado de interferencia) que no se presenta con corpúsculos, pues la llegada de un segundo corpúsculo no puede cancelar la del primero.

materia para transformarse en onda, pero el vacío se ha llenado! A este *algo* capaz de servir de asiento a las vibraciones que constituyen la luz se le llamó *éter*, palabra con la que Aristóteles designa la sustancia de la que están hechos los cielos.

Décadas más tarde se hizo posible dar respuesta a la intrigante y vieja pregunta: la luz es ondas, pero ¿ondas de qué? Por ejemplo, cuando tiramos una piedra en la fuente, vemos ondas en el agua; cuando hablamos, producimos ondas acústicas que hacen vibrar al aire, y así sucesivamente. En el caso de la luz, el éter está vibrando, pero, ¿qué es lo que lo hace vibrar? James Clerk Maxwell, el gran físico escocés (1831-1879), dio una respuesta profundamente original e inesperada: la luz es un fenómeno electromagnético. En palabras simples, la luz que vemos (y la que no vemos, como lo rayos X o los gama, la radiación infrarroja, etcétera) no es sino una vibración eléctrica sumamente rápida aunada a otra magnética de la misma frecuencia, que viajan por el espacio reproduciéndose la una a la otra; el éter es el asiento omnipresente de estas vibraciones electromagnéticas.

Algunos años más tarde el joven físico de origen alemán Albert Einstein (1879-1955) percibe que la noción de éter es superflua (además de contradictoria, cosa que se sabía) y propone deshacerse de ella.³ La luz queda como una simple vibración electromagnética y el vacío recupera su carácter de mero espacio o arena en la que ocurren los fenómenos: la materia ha perdido a ambos como elementos suyos.

Pero las cosas no se quedan ahí. Nuevamente el joven Einstein y en el mismo año de 1905, es el primero en lanzar la física por caminos insospechados. Con argumentos simples que la brevedad de estas páginas impide reproducir, hace ver que para la comprensión de ciertos fenómenos asociados a la luz, debemos aceptar que ésta posee una estructura granular.⁴ La estructura continua y el comportamiento ondulatorio que la física clásica asigna a la luz —y, más en general, a la radiación electromagnética— se obtienen al considerar simultáneamente un gran número de estos gránulos, es decir, son un resultado estadístico que se obtiene al trabajar con sistemas macroscópicos. Desde entonces concebimos a la luz como constituida por paquetitos de energía electromagnética de cierta frecuencia, que al interaccionar individualmente con la materia se comportan como corpúsculos (llamados fotones). Sin embargo, estos “corpúsculos” deben ser entendidos precisamente como energía, no como materia: la luz es un campo —un disturbio, si se prefiere— puramente electromagnético, capaz de propagarse por el vacío con la máxima velocidad que puede darse en la naturaleza.⁵

³ La Teoría (restringida) de la Relatividad que propone entonces (1905) elimina todo vestigio de la noción de espacio absoluto contenida en la mecánica newtoniana. El éter era una especie de asiento para los movimientos y todo movimiento respecto de él debía ser absoluto, en contradicción con las nociones relativistas.

⁴ De entre ellos, mencionemos el efecto fotoeléctrico (emisión de electrones por superficies metálicas iluminadas) y el efecto Compton (enrojecimiento de la luz al ser dispersada por los cuerpos). Tanto Einstein como Compton recibieron el premio Nobel de física por la explicación teórica de estos efectos en términos de *corpúsculos* de luz llamados *fotones*.

⁵ Como es sabido, la Teoría de la Relatividad demuestra que ningún cuerpo *material* puede viajar con velocidad que exceda la de la luz en el vacío, la que así se convierte en la velocidad límite de la naturaleza. Nótese que la luz alcanza esta velocidad precisamente porque *no es materia*.

2. La estructura de la materia

Que la materia está compuesta de átomos y éstos, a su vez, de partículas más elementales que tienen su propia identidad, son conocimientos relativamente recientes dentro de la física. Esto puede parecer sorprendente si se recuerda a Demócrito y los racionalistas griegos, quienes ya hablaban de los átomos como los elementos indestructibles que constituyen la materia. Sin embargo, como conocimiento científico y no mera especulación, la idea de la naturaleza atómica de la materia aparece hasta inicios del siglo XIX, básicamente como fruto de una vida entera consagrada a la ciencia por el químico inglés John Dalton (1766-1844). La idea evoluciona y poco a poco adquiere popularidad entre los químicos y entre cierta especie de físicos de vanguardia, aunque un sector importante de investigadores la siguen considerando un modelo útil para propósitos prácticos pero artificioso y sin contraparte empírica.⁶

La raíz de la dificultad estriba en el carácter puramente especulativo que seguía teniendo la noción atómica, pues aunque las teorías físicas y químicas basadas en ella conducían a resultados válidos, se carecía aún de una prueba *directa* y *experimental* de la realidad del átomo. El problema se resolvió ya entrado nuestro siglo cuando el físico francés Jean Baptiste Perrin (1870-1942), partiendo de resultados teóricos obtenidos *para este fin* por Einstein (nuevamente en 1905) y otros similares de Smoluchowski, pudo *medir* en 1907-1908 el diámetro de las moléculas y determinar el número de Avogadro. Es interesante notar que el físico inglés Joseph John Thomson (1856-1940) ya había descubierto los electrones desde 1897 como los componentes de la materia que dan lugar a las corrientes eléctricas; de hecho, Thomson consideró los electrones como constituyentes de los átomos. Dentro de esta corriente de vanguardia, vale recordar también que el gran físico teórico holandés Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) llegó incluso a desarrollar una teoría atómica en términos electrónicos durante la última década del siglo pasado.

Con la confirmación del carácter real de los átomos una nueva interrogante se abría a los físicos: ¿qué son, cómo están hechos los átomos? Pronto se aprendió que la física clásica no era directamente aplicable a tales sistemas, pues conducía a problemas insolubles y contradicciones inaceptables. Sin embargo, para 1913, el joven físico danés Niels Bohr (1885-1962) tenía ya elaborada la que vino a ser la primera teoría cuántica de la materia, es decir, la primera teoría atómica que se salía del marco clásico y buscaba dar solución al problema planteado, en términos de una nueva física. Sin entrar en detalles, baste decir que con el tiempo estos esfuerzos cristalizaron con la construcción de la *mecánica cuántica* actual, teoría que permite describir con impresionante precisión el comportamiento *estadístico* de los microsistemas, como átomos, moléculas, etcétera.

⁶ Entre los físicos del siglo pasado hay figuras como Maxwell o Ludwig Boltzmann (físico austriaco, 1844-1906) que utilizan la hipótesis atómica como base de sus investigaciones de la teoría del calor y de los gases. Pero existen también figuras señeras como Friedrich Wilhelm Ostwald (químico ruso-alemán creador de la fisicoquímica, 1853-1932) o Ernst Mach (físico austriaco, 1838-1916), que fueron convencidos y militantes antiatomistas.

Nuestra intención en lo que sigue del presente trabajo es comentar en forma simple algunas de las peculiaridades de esta teoría y de la representación que del mundo y de la materia nos ofrece. Algunas conclusiones habrán de resultar antiintuitivas para el lector; valga ello como indicio de que entre más profundizamos en la naturaleza, más rica se muestra ante nosotros.

Antes, una observación. La física contemporánea va más allá de la noción atómica; no sólo descompone al átomo en sus ingredientes básicos —los electrones y el núcleo atómico— sino que considera a éste como compuesto a su vez de protones y neutrones, para pasar a continuación a estudiar la constitución de estas partículas y otras similares que pueblan la naturaleza —las que en conjunto son llamadas *partículas elementales*. Hasta la fecha se ha aprendido que hay partículas como los electrones, los neutrinos, etcétera —los *leptones*—, que son de verdad “elementales”. El resto de ellas, como los protones, neutrones, piones, etcétera —todos los *hadrones*—, resultan estar compuestas de otras más primitivas, a las que se les llama *quarks*.⁷ Podemos decir que la materia prima del Universo son los quarks y los leptones.

El estudio del comportamiento de estas partículas y de sus interacciones es lo que se llama sin mucha pompa *física de partículas elementales*. A partir de aquí la física se organiza jerárquicamente según la complejidad estructural: teoría de partículas elementales, física nuclear (que estudia el núcleo atómico), física atómica, física molecular. Seguirían después las ramas de la física que estudian agregados de átomos o moléculas, como la física del estado sólido, la de la materia condensada (estudio de metales, cristales y demás), etcétera. Todas estas ramas encuentran en la mecánica cuántica su teoría fundamental, y a ella se agrega el conjunto de leyes específicas que caracterizan a los diversos sistemas. Al pasar al nivel macroscópico, la física se torna clásica en sus diversas especialidades (fluidos, calor, mecánica de cuerpos indeformables o deformables, etcétera), hasta alcanzar el nivel cosmológico en ramas como la astronomía o la astrofísica. A este nivel la teoría de la relatividad adquiere una relevancia singular, aunque en ocasiones es imprescindible aun a escala microscópica. Tanto en el nivel microscópico como en el macroscópico, y tanto con sistemas clásicos como cuánticos, suele suceder que por la naturaleza del problema los estudios estadísticos sean más apropiados que los detallados; de esta necesidad surge la física estadística. Por ejemplo, visto el calor como generado por el movimiento desordenado de agitación molecular, es claro que un tratamiento estadístico de tales movimientos puede servir de excelente base para el estudio de la termodinámica y de las propiedades térmicas de volúmenes macroscópicos de gases. Incluso la teoría así construida resulta más fundamental y más general que la que surge de una mera descripción fenomenológica directa.

⁷ El término *quark* es de origen literario; lo adoptó Murray Gell-Mann (físico norteamericano, n. en 1929 y uno de los dos descubridores de los quarks) metafóricamente a partir del nombre de los tres hijos de Mr. Finn en la novela *Finnegans Wake* de James Joyce (el protón está constituido por tres quarks). En la física de partículas elementales —y en ocasiones también en otras ramas de la física— se ha ido dando la costumbre de emplear términos de fantasía en vez de descriptivos. Así, se habla de la extrañeza, el encanto, la be-

3. ¿Juega Dios a los dados?

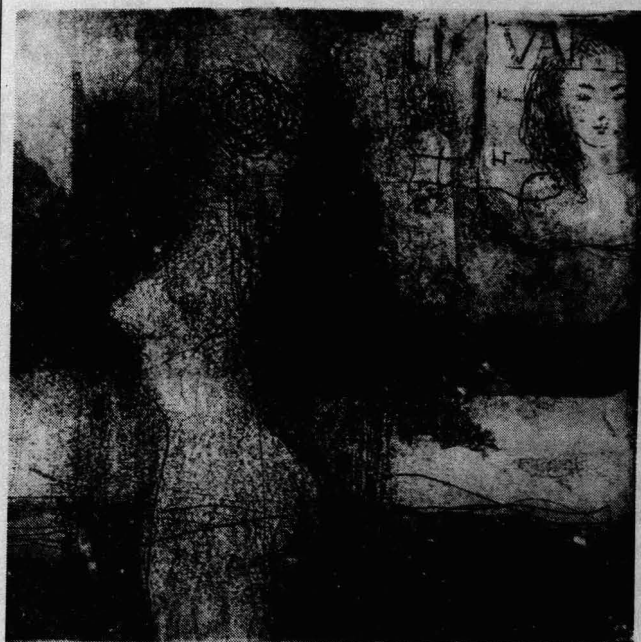
Para ser concretos hablaremos en lo sucesivo de electrones al referirnos a partículas cuánticas. Hemos dicho que la mecánica cuántica proporciona una descripción estadística del comportamiento del sistema estudiado. Tratemos de ver qué significa esto.

Para ello imaginamos el siguiente experimento de sabor casero. Encendemos un tubo de rayos catódicos —como el cinescopio de los televisores— y dejamos viajar algunos pocos electrones desde el cátodo hacia la pantalla. Cada electrón al llegar a la pantalla produce una motita que brilla por un breve instante. Cuidemos las cosas para asegurar que *todos los electrones sean enviados hacia la pantalla exactamente bajo las mismas condiciones*: en la misma dirección, con la misma velocidad, etcétera. ¿Qué observamos? Uno pensaría que, puesto que todos los electrones son tratados igual, todos deben llegar exactamente al mismo punto de la pantalla. Pero esto es precisamente lo que *no* ocurre: las partículas se distribuyen sobre toda la pantalla, cayendo *azarosamente* en diferentes lugares. En palabras llanas: ¡vemos que electrones en iguales condiciones se comportan en forma diferente!

Pero la realidad es aún más sutil y compleja. Para convencernos colocamos en el interior del cinescopio y precisamente en el camino de los electrones hacia la pantalla, una delgada placa metálica que bloquee su paso, y abrimos en la placa dos finísimas rendijas muy juntas entre sí, por las que los electrones podrán pasar libremente. Ahora se espera que los electrones dibujen dos líneas luminosas en la pantalla, una por cada rendija. Pero esto *no* es lo que ocurre: lo que se observa es una serie alternada de muchas franjas luminosas y oscuras, cuyo brillo va decreciendo lentamente hacia los extremos, de tal manera que la franja central (que por cierto *no* se encuentra enfrente de ninguna de las rendijas, sino entre ambas) es la más brillante. ¿Cómo podemos entender este impresionante resultado? Aquí estamos en presencia de una de las más singulares características del comportamiento de los electrones: el patrón luminoso que observamos en la pantalla producido por las partículas que cruzan las rendijas es exactamente igual al que produciría un haz de *luz* (de un solo color) en iguales condiciones. ¡Es decir, los electrones se comportan en este experimento como *ondas*!

Este resultado tiene consecuencias profundas para toda la física microscópica, pues se observa que es característico y no meramente accidental: los sistemas cuánticos se comportan en ocasiones como corpúsculos, y en otras circunstancias como ondas. La idea podría parecer simple, pero un poco de detenimiento la revela como sorprendente, e incluso con aires de misterio. Por ejemplo, en el caso del cinescopio, mientras los electrones cruzan las rendijas se comportan como ondas, las que llenan *todo* el espacio interior, mientras que al llegar a la pantalla quedan registrados *en algún lugar* como puntitos. Además, ¿qué es lo que fija en cuál punto específico se “concentra” el electrón? La teoría no posee *ningún* elemento que determine este resultado, por lo que se considera que es un

lleza, el color, el sabor, etcétera, de las partículas en referencia a propiedades intrínsecas cuantitativas.



producto del azar: el electrón —o cualquier sistema cuántico— es *esencialmente* indeterminista. No son éstas las únicas propiedades sorprendentes —por no decir bizarras— del comportamiento cuántico, pero nos bastan para los propósitos presentes. Tratemus de analizarlas un poco más de cerca.

Aunque la mecánica cuántica posee una ley dinámica que implica la evolución *causal* de los sistemas cuánticos, no permite hacer predicciones específicas del tipo: ¿en qué punto de la pantalla habrá de caer *este* electrón? Tal ley *sólo* nos proporciona predicciones de tipo estadístico —como: ¿cuál es la *probabilidad* de que el electrón caiga dentro de este cuadrado?—, que reflejan y contienen el indeterminismo característico del sistema. Por añadidura, a menudo se considera que la mecánica cuántica es una teoría *completa* de la naturaleza que en *cada caso particular* genera *toda* la información física que en principio puede haber. De ser así, debe concluirse que el indeterminismo en cuestión tiene un carácter esencial, irreductible.⁸ La onda que describe al electrón contiene entonces en forma latente *todos los posibles resultados* de cualquier experimento; uno de ellos es el que se dará al *azar* al efectuar la medición. Estos resultados existen en la onda como *potencialidades* que se materializan con probabilidades específicas, que la teoría permite determinar, sin que podamos ir más allá. El electrón atómico, representado mediante estas ondas de potencialidades, se ha transformado ahora en una nube de probabilidades alrededor del núcleo: ha dejado de ser un objeto para convertirse en un conjunto de posibilidades. Sien-

do así que el electrón habrá de recuperar su materialidad, sin embargo, tan pronto determinemos su posición al hacer que se registre en una placa fotográfica, o mediante otra medición equivalente.

La interpretación ofrecida⁹ lleva a la idea de que la microfísica no describe una realidad objetiva, independiente de nosotros y regulada por leyes causales que determinan los resultados, sino más bien se reduce a describir relaciones entre nuestras observaciones de un mundo en que reina el indeterminismo. En estas condiciones, es legítimo preguntarnos: ¿qué tan objetiva y determinista puede ser la realidad macroscópica que construimos a partir de la legalidad microscópica? En forma por demás sintética esta interrogante expresa algunas de las inquietudes que durante más de 60 años han ocupado las mentes de algunos —pocos, para ser sinceros— físicos y filósofos de la ciencia, insatisfechos con la imagen del mundo que tal interpretación ofrece. Podríamos agregar problemas no menos interesantes —como el de la separabilidad conceptual de partes del mundo, la validez del principio de localidad, la objetividad de las teorías naturales, etcétera— pero ello requeriría demasiado espacio y paciencia del lector, la que probablemente está a punto de agotarse o quien quizá empieza a creer en actos mágicos de la naturaleza. Dejemos aquí, pues, este análisis, para preguntarnos si es o no posible, al menos en principio, recuperar el realismo, la objetividad y el determinismo perdidos en la descripción del mundo físico, sin violar con ello las leyes de la naturaleza.

⁸ Esta observación contrasta con una afirmación hecha por Einstein en una carta dirigida a su amigo el físico alemán Max Born, uno de los fundadores de la teoría cuántica: . . . *me resisto a creer en un Dios que juega a los dados*. . .

⁹ La interpretación usual de la mecánica cuántica a la que hacemos referencia, es la conocida como *ortodoxa* o de *Copenhague*. No existe interpretación alterna a ella que goce de aceptación generalizada.

4. Una visión alternativa

La natural inquietud por construir una interpretación de la microfísica consistente con principios generales y fundamentales de las ciencias naturales, tales como los de realismo y objetividad, ha conducido a la proposición de interpretaciones alternativas que, sin modificar al aparato matemático de la teoría, invitan a una lectura diferente de la fenomenología descrita. A pesar del gran esfuerzo invertido en estas tareas, ninguna de ellas ha alcanzado hasta el momento el nivel de coherencia *lógica* que posee la interpretación de Copenhague, por lo que no han logrado éxito suficiente.¹⁰ Por otra parte, es claro que una mera *reinterpretación* de la microfísica no puede generar respuestas novedosas a las profundas interrogantes cuya solución se le escapa a la física contemporánea, como por ejemplo sobre la causa del aparente indeterminismo, o el origen de la naturaleza ondulatoria de la teoría actual. Si queremos ir al fondo de estos problemas, se hace necesario preguntarnos por el propio origen de la teoría cuántica, buscar elementos físicos que sirvan de base para la revisión de la interpretación.

Tratemos, en breves líneas, de presentar las ideas centrales de una proposición que va en la dirección indicada. Nos referimos a la llamada *electrodinámica estocástica*, teoría en elaboración durante los últimos 20 o 25 años, y cuyos principios básicos pasamos a describir. Partamos para ello de una observación muy simple, también de sabor casero: cuando una carga eléctrica se pone a vibrar (a cierta frecuencia), emite ondas electromagnéticas (de la misma frecuencia). Así ocurre, por ejemplo, en una antena de radio o televisión, cuando se envía a ella una corriente alterna de electrones: éstos radian la señal (de radio o televisión) que habremos de recibir con otra antena, en la que las ondas electromagnéticas captadas ponen a su vez a vibrar a los electrones. Resulta que cada electrón atómico es una antena en miniatura que envía ondas electromagnéticas al espacio. Esto significa dos cosas, entre otras:

- a) que cada átomo pierde energía, pues la radia poco a poco;
- b) que el espacio está lleno de radiación electromagnética producida por todos los átomos del Universo.

Una vez más el espacio ha dejado de estar vacío, para llenarse ahora de energía electromagnética. Como este campo de vacío es generado por un número inmensamente grande de antenitas independientes, su estructura es terriblemente azarosa y fluctuante —técnicamente, se trata de un *campo estocástico*. La existencia de este campo da lugar a un nuevo fenómeno, que es fácil percibir al considerar que los propios electrones de los átomos que lo generan se encuentran a su

¹⁰ Esto pone de manifiesto de manera clara que la falta de coherencia entre las filosofías subyacentes a la teoría cuántica por un lado y al resto de las ciencias naturales por otro, no ha sido razón suficiente para convencer a los físicos de la necesidad de revisar aquella. Por el contrario, no es difícil toparse con la afirmación de que la mecánica cuántica ha venido a mostrar la invalidez de la filosofía de la naturaleza abstraída del resto de la ciencia natural. No es infrecuente leer, por ejemplo, que “el experimento cuántico tal y tal realizado en 1985 (digamos) ha demostrado la invalidez del realismo filosófico”, o bien que “el indeterminismo esencial del electrón está en la base del libre albedrío”, etcétera.

vez inmersos en él: la interacción produce un movimiento caótico permanente de cada electrón —como antenita capturando ondas electromagnéticas. En el átomo las cosas se arreglan de tal manera que la energía ganada por el electrón debido a este movimiento errático compensa en promedio la que se pierde por radiación, y así el átomo adquiere una estructura estable, aunque estocástica. En esta forma la electrodinámica estocástica puede explicar la estabilidad de los átomos sin violar las leyes del electromagnetismo.

Pero hemos ganado una posibilidad más: puesto que la interacción de los electrones con el vacío electromagnético fluctuante es permanente, ubicua e inevitable, debemos concluir que el movimiento de cada electrón será caótico, irregular e irreproducible —dicho en lenguaje técnico, los electrones siguen trayectorias estocásticas. Ahora estamos en condiciones de entender por qué, aunque se envíen electrones idénticos dentro de un cinescopio, cada uno de ellos seguirá su propio camino aleatorio: simplemente, porque cada uno habrá de encontrar un *diferente* campo electromagnético de vacío. Se hace así natural el comportamiento azaroso del electrón; como, además, no tenemos acceso —al menos en la actualidad— a los detalles del campo electromagnético que en cada caso habrá de darse, sino sólo a sus propiedades estadísticas,¹¹ es natural que la teoría se encuentre en condiciones de hacer *únicamente predicciones estadísticas* del comportamiento de los electrones. No se trata de un indeterminismo esencial, innato del electrón, sino del resultado natural de un fenómeno físico perfectamente inteligible y accesible al estudio teórico.

Durante las dos décadas que la electrodinámica estocástica lleva de estudio y desarrollo, ha permitido encontrar la explicación a muchas de las propiedades cuánticas de la materia como resultado de la presencia ubicua del campo electromagnético de vacío. Es cierto que han aparecido dificultades mayores de las previstas inicialmente, pero la solución de cada una de estas dificultades nos enseña que la naturaleza resulta con frecuencia más sutil y astuta de lo sospechado. No puede aún afirmarse que esta teoría resuelve todos los problemas planteados por la mecánica cuántica; más correcto sería decir que la forma “ingenua” que se le ha dado no representa todavía suficientemente bien a la naturaleza. Así, la tarea es ahora revisar la teoría, buscar formas alternas de ella o bien, completarla adecuadamente, para tratar de llevar a término su programa central. Si será o no capaz de resolver enteramente los problemas planteados aún no lo sabemos. Pero hoy día, su mera existencia muestra que existe la posibilidad, en principio, de encontrar explicaciones físicas al fenómeno cuántico sin necesidad de abandonar caros principios generales.

Por otra parte, la electrodinámica estocástica nos lleva a una conclusión atractiva: aunque la luz no es materia, la materia es como es gracias a su interacción permanente con el campo electromagnético que llena el vacío, el que es, a su vez, resultado de la propia materia, de la que se origina. La luz no es materia, pero es complemento indispensable de ella. ♦

¹¹ La teoría contiene argumentos que permiten determinar todas las propiedades estadísticas del campo electromagnético del vacío.

LOS CUASICRISTALES: NUEVOS CONCEPTOS DE LA FÍSICA Y VIEJOS CONCEPTOS DEL ARTE

Miguel José Yacamán

La física actual del estado sólido es posiblemente uno de los ejemplos más notables del reencuentro entre algunas ideas desarrolladas en la antigüedad por otra rama del conocimiento y la modernidad. A los físicos formados en los años sesenta y setenta, nos fue enseñado que existían dos tipos básicos de sólidos: aquellos totalmente ordenados y periódicos llamados *cristales* y aquellos totalmente desordenados y aperiódicos llamados *amorfos*. La física del estado sólido en los años sesenta despuntaba con una gran energía; la aplicación de los conceptos de la mecánica cuántica hecha en los años cincuenta, había permitido tener una idea bastante precisa de la estructura de las bandas electrónicas en dichos sólidos. El conocimiento teórico de los sólidos, arrojó la posibilidad de construir dispositivos electrónicos que explotan las propiedades de conducción de un sólido. A los conceptos teóricos desarrollados en los cincuenta y sesenta siguió un esfuerzo titánico en los años setenta en el desarrollo de cristales cada vez más perfectos que permitieran la construcción de dispositivos electrónicos.

Hacia finales de la década de los setenta la electrónica había ya invadido completamente la vida social y durante la década de los ochenta se adueñaría de prácticamente todo, desde los medios de la comunicación hasta la sustitución de dispositivos electromecánicos, la medicina, el arte, la música, etcétera. Aún tenemos por venir diferentes aplicaciones de este concepto básico que se transformó después de un esfuerzo masivo en tecnología. Los cristales son periódicos y ordenados. El primer signo de cambio se produjo en los años setenta cuando se estudiaban algunas aleaciones metálicas y algunos otros compuestos aparecían a corto alcance como aperiódicos. Sin embargo, la paz y tranquilidad se restablecía suponiendo que la estructura era efectivamente periódica pero con un periodo muy largo. Las estructuras bautizadas como de periodo largo dieron el primer signo de cambio que estaría por venir. En el pensamiento corriente de los setenta, se creía necesario introducir distorsiones *ad hoc* para explicar la formación de sólidos icosaedrales en muchos sistemas reales. En esos años apareció otro signo de cambio cuando fueron estudiados pequeños cúmulos metálicos (fig. 1) cuyas formas externas eran decaedros y cosaedros. La reconciliación entre la observación de un sólido icosaedral y la teoría implicaba la introducción de defectos llamados gemelaciones o maclas. En 1985, apareció publicado en la revista *Physical Review Let-*

ters un artículo que produjo una enorme conmoción en el mundo científico e inició la revolución de la cristalografía. Los autores Schechtman, Gratias, Blech y Cahn reportaron la existencia de un sólido masivo cuya simetría correspondería a la del grupo icosaedral. Esto tenía implicaciones muy importantes, porque era perfectamente sabido de la teoría cristalina que no permitía construir una secuencia periódica infinita en que llenara el espacio basado en la simetría icosaedral. Dicho en otras palabras, estábamos frente a un elemento que no era periódico, pero que tenía ordenamiento suficiente como para producir picos bien definidos en un patrón de difracción.

Lo que siguió se produjo a una velocidad vertiginosa, se publicaron de inmediato varios trabajos en los cuales se demostraba que una estructura basada en un patrón de Penrose, que es un arreglo aperiódico de mosaicos (fig. 2), podía ser representativa de la estructura de un sólido icosaedral y que presentaba simetría cinco. Inmediatamente los nuevos

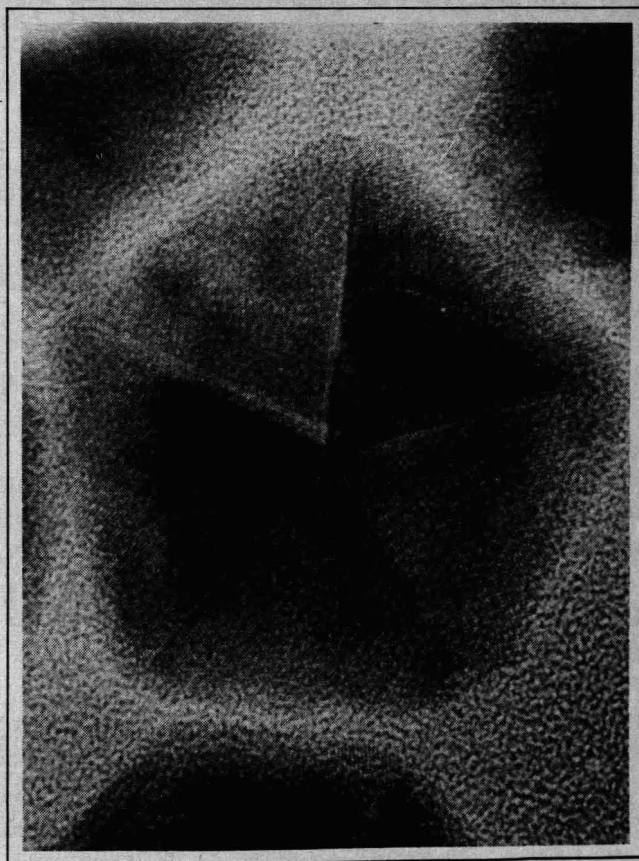


Fig. 1 Imagen de un decaedro de Oro-Paladio obtenida en el microscopio electrónico de Ultra-Alta Resolución

sólidos fueron bautizados como *cuasicristales*. Estábamos en presencia de un sistema ordenado, pero no periódico. La excitación por parte del medio científico continuó y podríamos decir que casi todas las técnicas de la física moderna han sido aplicadas al estudio de dichos sistemas, los cuales han sido ya encontrados en un gran número de aleaciones. Sin embargo, la situación interesante puede verse a través del patrón de difracción de electrones o de la imagen de átomos que se muestran en la figura 3. Si uno observa los átomos mostrados en la figura, las distancias entre los dos átomos señaladas A y B son tales que $A/B \cong \tau = 1.61$. Número que es conocido en la literatura como el número dorado, el *aurea medida*, la media dorada, etcétera, y cuya definición es:

$$\tau = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

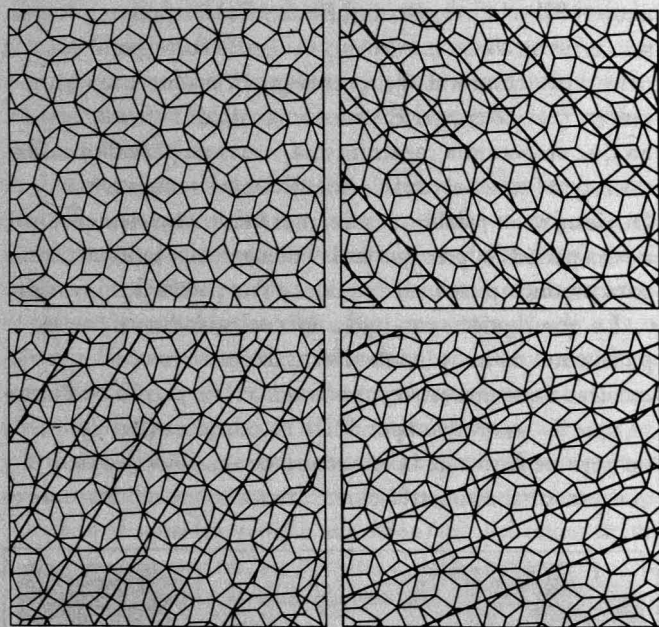
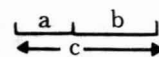


Fig. 2 Patrones aperiódicos de Penrose

Los átomos en la línea indicada en la figura 3 están divididos siguiendo la regla de oro. Esto fue sin duda una de las grandes sorpresas que nos tenían deparados los *cuasicristales*. La media dorada fue bautizada así por Leonardo da Vinci y fue originalmente introducida por los griegos. La media dorada aparece en forma natural en todo aquello que esté geométricamente basado en un icosaedro o en un decaedro. Los artistas han utilizado por mucho tiempo este concepto. El dividir una línea por τ permite hacer un trazo asimétrico pero al mismo tiempo estéticamente agradable. Los griegos le atribuían a la media dorada ciertos poderes especiales y fue utilizada profusamente en la arquitectura helénica. Así, las culturas antiguas descubrieron con mucho mayor anticipación un concepto natural que sin embargo llevaría veinte siglos de la época moderna para que la física lo descubriera y lo incorporara en forma oficial. Aquí cabría preguntar cuál es el significado físico de la sección áurea. Históricamente Leonardo da Vinci bautiza a τ como sección áurea y muestra su papel en el arte. La sección áurea es redescubierta en 1850 por el ale-

mán Seysing, y la describe de la siguiente manera: "Para que todo dividido en partes desiguales parezca hermoso desde el punto de vista de la forma, debe haber entre la parte mayor y menor, la misma razón que entre la mayor y el todo". En otras palabras, si tenemos una línea dividida en secciones:



La regla de Seysing dice: $\frac{a}{b} = \frac{c}{a} = \frac{a+b}{a}$

Si llamamos $x = \frac{a}{b}$ la ecuación será: $x^2 - x - 1 = 0$. ~ (1)

Esta ecuación tiene como soluciones:

$$x = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = \tau \quad \text{y} \quad x = \frac{1 - \sqrt{5}}{2} = \frac{1}{\tau} = .6180$$

En muchas situaciones de la naturaleza aparecen geometrías descritas por la Eq. 1. En términos geométricos:

$$\tau^{-1} = \cos 51.82^\circ = \sin 38.17^\circ = \tan 31.71^\circ$$

Una buena aproximación a τ está dada por $(\frac{\pi}{4})^2$. El icosaedro y dodecaedro incorporan naturalmente a τ . Así por ejemplo, un icosaedro de arista α tiene un volumen dado por $\frac{5\alpha^3}{6} \tau^2$. Por lo tanto en redes formadas de icosaedros o dodecaedros τ aparece naturalmente. Por ejemplo, cuando tenemos un pentágono y los lados del pentágono se extienden tal como se indica en la figura 4 las intersecciones de las líneas forman otro pentágono que está rotado respecto al primer pentágono que sin embargo, si calculamos las distancias A y B indicadas en la figura, están relacionadas por el cuadrado de la media dorada. A la propiedad mostrada en esta figura 4 los griegos le atribuían propiedades mágicas y los físicos actuales la llamamos simplemente la inflación y decimos que un patrón de simetría icosaedral debe de tener propiedades inflacionarias, es decir, es posible encontrar un patrón idéntico después de multiplicar por un factor τ^2 , τ^3 , ... etcétera.

La nueva sorpresa ocurre cuando uno ve la distribución de átomos a lo largo de una línea de átomos en un cuasicristal (marcado con flechas en la figura 3), siguen la secuencia llamada de Fibonacci que fue descrita en 1229 por el matemático italiano Leonardo Fibonacci de Piza. Esta secuencia puede describirse como una serie:

$$1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, \dots \text{etc.}$$

en donde puede verse que el cociente entre dos elementos a partir de cierto número tiende a la media dorada. La regla de recursión es:

$$X_{n+1} = X_n + X_{n-1} \quad X_0 = X_1 = 1$$

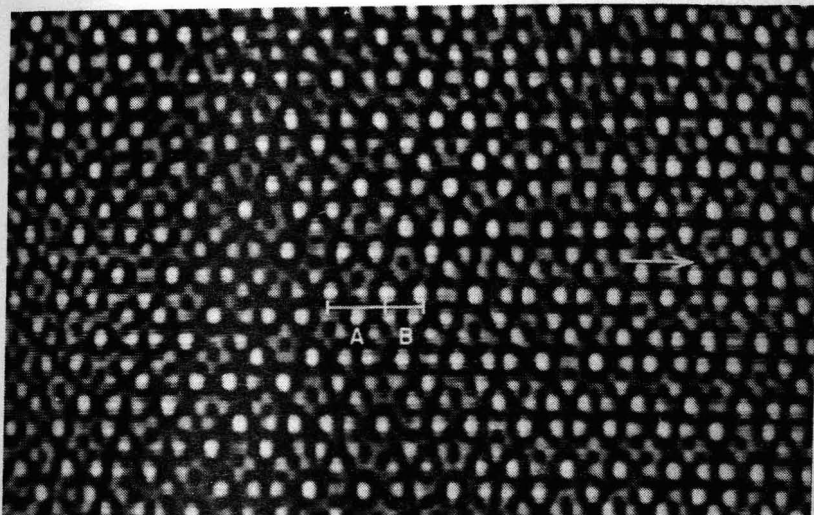
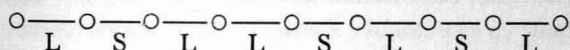


Fig. 3 Imagen de átomos en una aleación de aluminio y manganeso. Las hileras de átomos como la marcada por una flecha están en la secuencia de Fibonacci

La secuencia de Fibonacci es una secuencia no periódica que describe un arreglo asimétrico que utiliza sólo dos distancias:



En donde L y S representan dos distancias diferentes. Representa un ejemplo realmente notable de cómo construir una secuencia asimétrica. Lo extraordinario es que los átomos de la figura 3 están localizados de acuerdo con la secuencia de Fibonacci. Los cuasicristales han sido enormemente atractivos para los físicos del estado sólido. Una gran cantidad de matemáticos y físicos matemáticos han empezado a aplicar la teoría de grupos en estos sistemas cristalográficos no convencionales; los científicos que trabajan en este campo tienen una actitud de poca convencionalidad y casi de disidencia.

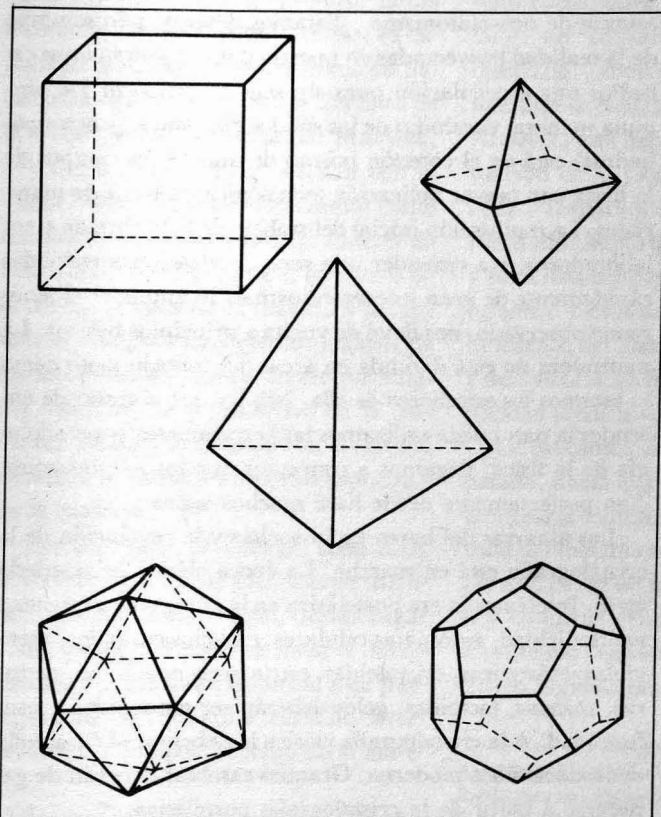


Fig. 5 Los sólidos platónicos: cubo, octaedro, tetraedro, icosaedro y dodecaedro

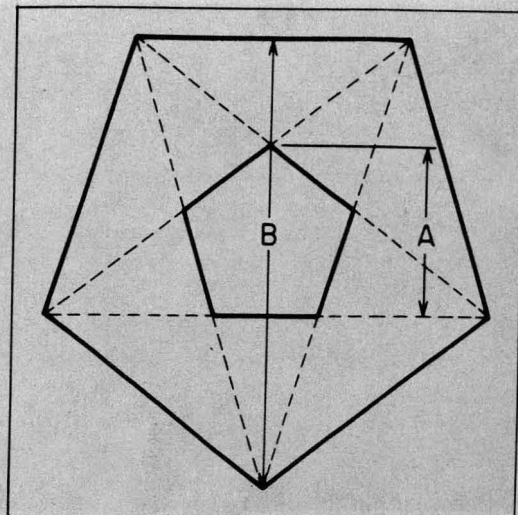


Fig. 4 La construcción de un pentágono por la prolongación de los lados de un pentágono menor

Algunos grupos clásicos de cristalografía ven aún con recelo el concepto de cuasicristales y algunos de sus más notables exponentes, como Linus Pauling, se han empeñado en demostrar que estos sistemas pueden ser descritos como un cristal con una celda unidad extraordinariamente larga. Esto sólo confirma el hecho de que estamos ante un sistema incommensurado y simplemente reafirma los nuevos conceptos. La disidencia de cuasicristales ha presentado ya evidencia más que arrolladora que demuestra la validez de los nuevos conceptos. El primer físico que quedó prendado de τ fue Johannes Kepler, el cual la llamó sección divina y la consideró junto con el teorema de Pitágoras "una de las joyas de Geometría". Kepler, por otro lado, trató de explicar la estructura de la materia basado en arreglos de los cinco sólidos platónicos: el cubo, el tetraedro, el octaedro, el dodecaedro y el icosaedro (fig. 5). En su libro *De Nive Quinquangula* sugiere que los cristales de nieve están compuestos por un empaquetamiento compacto de esferas. Ésta fue la primera vez que se trató de explicar la forma externa de la materia, basándose en su estructura interna. Para Kepler, los cinco poliedros regulares eran la clave del Universo, el cual era una especie de sinfonía geométrica. Sus esfuerzos fueron recompensados al encontrar sus famosas leyes para el movimiento de los planetas basados en geometría.

La cristalografía que se desarrolló en el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX se basó en dos poliedros platónicos, el cubo y el octaedro (que es su dual). El cubo tiene la propiedad de ser el único cuerpo geométrico que por sí solo llena el espacio, sin dejar huecos o intersticios (al menos esto era cierto, hasta antes de los cuasicristales). Otros poliedros regulares o semi-regulares, sólo llenan el espacio por combinaciones de ellos. El abate Haüy funda la cristalografía a principios del siglo XVIII con su ley de los índices racionales, que expresa: "Los coeficientes que expresan las relaciones de las diferentes caras planas de un cristal, según las direcciones de los 3 ejes principales de simetría, son números enteros pequeños". Esta ley excluía por tanto a τ como un coeficiente de los índices en cuestión. La cristalografía clásica produjo así 32 grupos puntuales y 230 grupos espaciales basados en la repetición infinita y periódica de átomos.

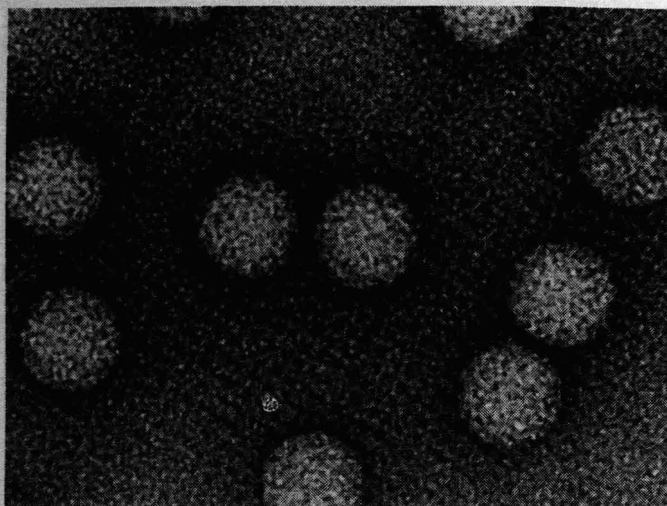


Fig. 6 Imagen de Ultra-Alta Resolución de un virus de poliomielitis con simetría icosaedral

Otro sólido platónico, el tetraedro, ocupa más tarde un lugar. Uno de los grandes físicos de siglo XX, F.C. Frank, junto con su colega Kasper, a principios de los cincuenta discutieron estructuras que estaban formadas básicamente por tetraedros empaquetados de acuerdo a ciertas reglas. Era bien sabido que un empaquetamiento de tetraedros puede producir un decágono o un icosaedro imperfecto. Por lo tanto, la existencia de posibles sólidos con simetría icosaedral o decaedra imperfecta era factible.

Más adelante los sólidos formados por arreglos periódicos de tetraedros e icosaedros empezaron a ser observados y fueron denominados fases de Frank-Kasper. Como ya mencionamos anteriormente, el icosaedro y el dodecaedro llevan inscritos en forma natural el número τ . Los cuasicristales son la realización más acabada del orden icosaedra a largo alcance. Sin embargo, existen muchos otros sistemas físicos, como por ejemplo los vidrios metálicos, en que el icosaedro está presente al menos a corto alcance. Los cálculos energéticos a nivel atómico, utilizando computadoras modernas, muestran efectivamente que el crecimiento icosaedra (o decaedra) corresponde bajo ciertas condiciones a una minimización de la energía y por lo tanto será preferido sobre otros tipos de solidificación.

En la biología existen también muchos ejemplos de simetría icosaedra. La figura 6 muestra la imagen del virus de

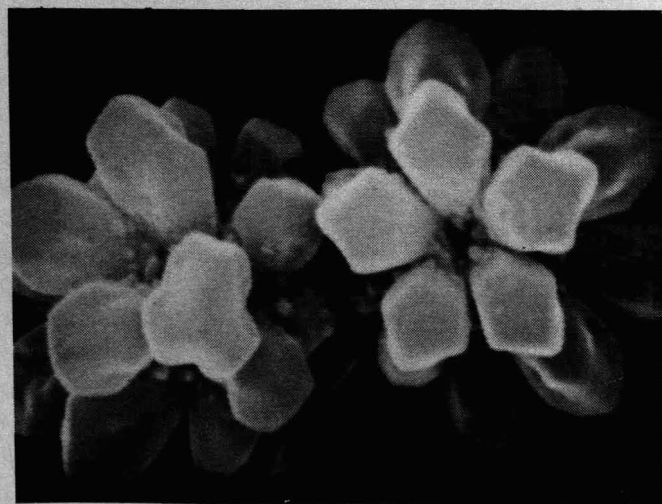


Fig. 7 Cuasicristales de aluminio y manganeso. Foto tomada con Microscopio de Barrido. Cortesía de la Dra. Agnes Csandy

la poliomielitis que presenta simetría icosaedra. En la botánica es bien conocida la presencia de la media dorada en muchos sistemas. Por ejemplo, en filotaxia se ha demostrado que las ramas de una planta dispuestas a lo largo del tronco en forma de hélice forman un ángulo óptimo α de $137^\circ 30'$, el cual permite el máximo de exposición a la luz vertical. Dicho ángulo minimiza el recubrimiento horizontal de las ramas y está dado por:

$$\alpha = \frac{360}{\tau + 1} = 137^\circ 20'$$

Adicionalmente, River ha demostrado en fecha reciente que algunas flores son *cuasicristales* botánicos. Sin embargo, la situación parece ser también válida al revés, pues aleaciones metálicas como la mostrada en la figura 7 son *cuasicristales* de Al-Mn con forma de flores.

El futuro es altamente promisorio y parecería que el descubrimiento de los *cuasicristales* abre nuevas posibilidades de descripción de un gran número de fenómenos no accesibles previamente. Las matemáticas han jugado un papel muy importante en este cambio. Particularmente atractivos han sido los desarrollos de Kramer, que indican que la estructura de los cuasicristales puede ser descrita como proyecciones tridimensionales de una figura muy simple, el hipercubo en seis dimensiones. Por otro lado, ha sido demostrado por Sadoc y Mosseri, que estructuras muy complicadas en tres dimensiones (nuestro espacio real) se convierten en estructuras muy simples en cuatro dimensiones llamadas politopos, (poliedros en cuatro dimensiones). Más aún, estructuras que en tres dimensiones son imperfectas, en cuatro dimensiones son perfectas. En otras palabras, al curvar el espacio euclidiano, se pueden analizar estructuras complicadas en forma muy sencilla. Estos conceptos de la física moderna aparecen como una especie de neo-platonismo. ¿Estamos describiendo sombras de la realidad proyectadas en nuestra cueva? ¿Serán estos estudios una especulación pura sin sentido práctico? De ninguna manera, el estudio de los sólidos platónicos (y otros poliedros) está en el corazón mismo de uno de los campos de la física con mayor aplicación tecnológica: la física de materiales. La motivación inicial del trabajo de Schechtman y colaboradores, era entender una serie de aleaciones enfriadas rápidamente de gran interés industrial. El entender el fenómeno observado, nos llevó de vuelta a principios básicos. La naturaleza no está dividida en áreas del conocimiento como lo estamos los estudiosos de ella. Así, los que al tratar de entender la naturaleza utilizamos las herramientas y metodología de la física, llegamos a conceptos que los artistas conocían perfectamente desde hace muchos siglos.

Las amarras del barco están sueltas y la revolución de la cristalografía está en marcha. La época clásica ha quedado atrás. Iniciamos la era postclásica en la cual conceptos como aperiodicidad, autómatas celulares, espacios curvados, agregados jerárquicos, cristaloides, estructuras nemáticas, texturas, micelas, tactoides, geles deberán ser entendidos a profundidad. A la cristalografía clásica le debemos el desarrollo de la electrónica moderna. Grandes cambios deberán de generarse a partir de la cristalografía postclásica. ♦

EL CAOS DETERMINISTA: LOS LÍMITES DE LA PREDICCIÓN CIENTÍFICA

Rafael Pérez Pascual*

Los grandes logros que había acumulado la ciencia a finales del siglo XIX, señalaban al determinismo como el sustento real de la naturaleza. La mecánica clásica, iniciada por Galileo, establecida por Newton y enormemente desarrollada durante los siglos XVIII y XIX, había triunfado. Su visión determinista y su capacidad predictiva se convirtieron en paradigma científico. El establecimiento de la teoría electromagnética por Maxwell, la sistematización de la química con la Tabla Periódica, la termodinámica como ciencia de los fenómenos de la materia en bulto, del calor y la energía, el triunfo de la teoría atómica de la materia y la síntesis de compuestos orgánicos a partir de los inorgánicos, ratificaron ese paradigma determinista y predictivo de la mecánica clásica y lo extendieron al estudio científico de todos los aspectos conocidos de la materia.

Por otro lado, al final del siglo XIX se encontraron varios hechos experimentales que, en nuestro siglo, darían lugar a una teoría que pone en duda el determinismo: la mecánica cuántica. Ésta puede entenderse como una teoría no determinista del comportamiento de la mate-

ria. Postula el indeterminismo y se limita, por principio, a un nivel probabilístico en su capacidad de predicción.

El indeterminismo de la mecánica cuántica ha sido objeto de un gran número de discusiones, tanto entre científicos como entre filósofos. En este artículo no tomaremos esta línea de discusión*, abordaremos el otro pilar del paradigma científico: la predictibilidad. Arranca, este aspecto, con la misma situación de la ciencia a finales del siglo XIX y reaparece en los últimos años con resultados importantísimos para la física y para una concepción general de la naturaleza. Destacan, entre ellos, el descubrimiento del llamado caos determinista y de dificultades fundamentales en la capacidad predictiva de la mecánica clásica.

La mecánica clásica, a fines del siglo pasado, había logrado establecerse como una teoría matemática profunda y acabada del movimiento de los cuerpos. Había sido capaz de resolver completamente y en forma general el movimiento de los sistemas llamados integrables, que incluyen algunos tan importantes como el

movimiento de un planeta alrededor del Sol, el movimiento de un trompo simétrico y otros muchos igualmente importantes. La mecánica había descubierto que todos ellos eran reducibles, en esencia, a uno solo: el movimiento de una colección de osciladores armónicos desacoplados. Desde luego el realizar esa reducción en forma concreta para un sistema específico, lo que los físicos llamamos establecer un sistema de variables de acción y ángulo, puede ser muy difícil, pero se trata de una dificultad de cálculo y no de comprensión teórica.

Esto hizo pensar que en el caso de los sistemas no integrables existirían también métodos sistemáticos para resolverlos y que sus órbitas, si bien podrían ser más complicadas, en esencia presentarían características similares a las de los sistemas integrables. Era sólo una idea, ya que no se había podido resolver ningún sistema no integrable y, dada la escasa capacidad de cálculo numérico que se tenía, no era factible encontrarles soluciones numéricas; en realidad no había un conocimiento firme sobre el asunto de los sistemas no integrables.

A principios de nuestro siglo ocurrieron dos grandes revoluciones de la física: la formulación de la teoría de la rela-

* Véase en este mismo número el artículo de Ana María Cetto y Luis de la Peña y el de Tomás Brody para una discusión sobre los temas de la mecánica cuántica y del determinismo.

* Miembro del Instituto de Física, UNAM

tividad y de la teoría cuántica. Esto condujo a los físicos a dedicarse a estos temas y a sus aplicaciones, por lo que prácticamente olvidaron el problema no resuelto de los sistemas mecánicos no integrables.

Sólo algunos matemáticos interesados en el desarrollo de la teoría de las ecuaciones diferenciales y algunos físicos interesados en la mecánica celeste continuaron su estudio, pero los escasos avances que se dieron no arrojaron mucha más luz a lo ya conocido por Poincaré a principios de siglo.

A mediados de la década de los años sesenta, el interés por los sistemas no integrables y otros problemas físicos o matemáticos que presentan situaciones similares comenzó a cambiar. Varios factores de índole muy diversa convergen durante esa década: el desarrollo de la teoría matemática de las ecuaciones diferenciales y de los sistemas dinámicos en general; los problemas prácticos que aparecen en el lanzamiento de naves espaciales, pues para calcular sus órbitas hay que tratar con problemas no integrables de mecánica celeste; lo mismo ocurre en el diseño de anillos almacenadores de protones y otras partículas cargadas, que se hacen girar en órbitas determinadas por campos magnéticos complejos; la creciente importancia, teórica y práctica, de contar con desarrollos matemáticos en el campo de la hidrodinámica y la aerodinámica, en especial en los regímenes turbulentos; la necesidad de trabajar las ecuaciones diferenciales de los circuitos electrónicos, sobre todo aquellos altamente no lineales. Un aspecto fundamental es la invención de las computadoras electrónicas y el incremento explosivo que produjeron en la capacidad para calcular numéricamente soluciones de problemas no lineales.

De entre las muchas cuestiones que se han podido establecer, destaca el descubrimiento, en los sistemas no lineales, de un comportamiento realmente sorprendente y que tiene profundas implicaciones para el pensamiento científico. Se ha llamado a este comportamiento alta sensibilidad a condiciones iniciales, caos determinista o simplemente caos. Veamos un ejemplo ilustrativo.

Imaginemos dos estrellas que interactúan gravitacionalmente. Éste es el problema clásico de Kepler, resuelto en su

totalidad por Newton hace más de trescientos años. El movimiento de esas estrellas ocurre en un plano, ambas recorren órbitas elípticas que comparten uno de sus focos y éstos coinciden con el centro de masas del sistema. Supondremos que las dos estrellas tienen la misma masa, por tanto las dos órbitas elípticas son iguales y se encuentran colocadas simétricamente con respecto al centro de masas, al igual que las estrellas (fig. 1).

El sistema estelar binario es integrable y está totalmente resuelto. Incorporaremos a ese sistema un pequeño asteroi-

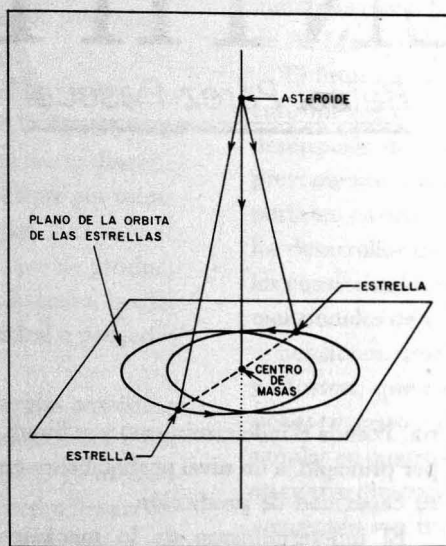


Fig. 1

de. Debido a que la masa del asteroide es muchísimo más pequeña que la masa de las estrellas, podemos suponer que la presencia del asteroide no altera el movimiento de las estrellas, las que continuarán recorriendo sus órbitas elípticas sin modificación. Por otro lado, el asteroide se verá actuado por la atracción gravitacional de las estrellas y esta atracción determina su movimiento. Es importante notar que el movimiento del asteroide corresponde a un sistema no integrable.

Si el asteroide se coloca sobre una recta perpendicular al plano de las órbitas de las estrellas de forma tal que pase por el centro de masas de éstas, la resultante de las dos fuerzas de atracción que recibe estará, debido a la posición simétrica de las estrellas, dirigida a lo largo de esa recta. Esto es, el asteroide será siempre atraído hacia el centro de masas. Si suponemos además que la velocidad inicial del asteroide estaba dirigida a lo largo de la recta, el asteroide, en su movimiento,

permanecerá siempre sobre dicha recta.

La fuerza que actúa sobre el asteroide apunta en una dirección cuando el asteroide está de un lado del plano y en la dirección contraria cuando está del otro lado. Esto produce un movimiento oscilatorio del asteroide, que lo hará pasar de un lado al otro. Este ir y venir del asteroide, no ocurre periódicamente ni cuasiperiódicamente, como ocurriría si el sistema fuera integrable.

La complejidad e irregularidad del movimiento del asteroide queda totalmente reflejada en un interesante teorema. En su movimiento de vaivén el asteroide pasa repetidamente por el plano de las órbitas; podemos, pues, medir los intervalos de tiempo entre pasos consecutivos del asteroide por ese plano. Estos intervalos de tiempo forman una sucesión de números (por ejemplo 3.465 seg., 23.2343 seg., etcétera). El teorema asegura que dada cualquier sucesión de números reales, existen condiciones iniciales para el asteroide, es decir, una posición inicial sobre la recta y una velocidad inicial a lo largo de ella, tales que la sucesión de números formada por los intervalos de tiempo entre pasos consecutivos del asteroide por el plano, reproduce exactamente la sucesión dada.

Las consecuencias de esto son sorprendentes e importantes. Imaginemos una secuencia de números, por ejemplo los resultados de la lotería en los últimos cincuenta años: el asteroide, al moverse en forma totalmente determinista por la influencia gravitacional de las estrellas, puede reproducir, en los intervalos de tiempo entre sus pasos consecutivos por el plano, esa secuencia, que todos consideramos totalmente azarosa.

Otra forma de ilustrar esto consiste en imaginar a un astronauta que se encuentra con ese sistema estelar. Observa al asteroide ir y venir y anota los tiempos que tarda entre pasos consecutivos por el plano de las órbitas. Podrá tomar tantos valores como quiera, pero no podrá, con base en esos datos, predecir el tiempo en que ocurrirá el siguiente paso, ni siquiera en forma aproximada. Esto se debe a que una sucesión de números posible es la observada y luego, por ejemplo 3.45 y otra sucesión, igualmente válida, es la formada por los datos observados y luego 576.98737636; como hay condiciones

iniciales para las que el asteroide reproduce la primera y otras para las que reproduce la segunda, no se puede, con base en los datos que se tomen, predecir cuál de los dos números saldrá; es más, como todas las sucesiones formadas por los números observados seguidos de cualquier otro son igualmente válidas, el asteroide podría estar en una órbita que reproduce cualquiera de ellas y por tanto, el conocimiento experimental de los valores anteriores no permite predecir nada sobre el siguiente valor.

Este es un ejemplo, muy ilustrativo y llamativo, de una propiedad muy frecuente entre los sistemas no integrables y los no lineales en general. En las últimas décadas se han demostrado formalmente este tipo de cuestiones y se han encontrado multitud de ejemplos, con relevancia física, en los que aparecen comportamientos de esta naturaleza.

El origen de esta propiedad de irregularidad en el seno de sistemas totalmente deterministas, está en lo que llamamos fuerte dependencia de las condiciones iniciales. Es decir, las soluciones del sistema, a pesar de ser totalmente deterministas, divergen unas de otras en forma exponencial, por tanto, aunque comen-

zamos con condiciones iniciales muy parecidas, las soluciones, después de un breve tiempo, serán muy distintas, y se hace imposible el estudio de un sistema de esta naturaleza utilizando aproximaciones.

En el caso del asteroide, el conocimiento de una cierta cantidad de intervalos de tiempo nos permite deducir las condiciones iniciales sólo en forma aproximada; para poderlas deducir exactamente requeriríamos un número infinito de datos, lo que es imposible; además, si ya tenemos todos los valores de la sucesión, no tiene sentido preguntarnos por el siguiente. La aproximación obtenida de una secuencia finita de datos conduce, en este caso, a un error que se amplifica exponencialmente, haciendo imposible la predicción del siguiente valor.

Otra propiedad de estos sistemas es la gran complejidad o irregularidad de sus soluciones. Esto es consecuencia de lo mismo: las soluciones, por un lado, se separan exponencialmente en todo instante y punto y, por otro lado, se desarrollan en un espacio acotado, por lo que deben enredarse en formas muy complejas, que vemos como una gran irregularidad o como algo caótico. Comparemos esto con lo que ocurre en los sistemas in-

tegrables o no caóticos: en éstos las soluciones u órbitas son muy regulares, como las órbitas elípticas de un planeta y si comenzamos con situaciones o condiciones iniciales cercanas, las soluciones no se separan exponencialmente, lo que permite hacer cálculos aproximados.

El comportamiento caótico que hemos ejemplificado con sistemas mecánicos conservativos, aparece también en sistemas disipativos bajo la forma de los llamados atractores extraños. Un ejemplo, que se ha hecho clásico por ser de los primeros en que se encontró este comportamiento, es el atractor de Lorenz. Éste nos permite ilustrar la diferencia entre una órbita caótica y otra que no lo es, al comparar una de las órbitas del sistema de Lorenz, presentada en la figura dos, con, por ejemplo, la elipse que recorre un planeta.

Los sistemas de ecuaciones diferenciales no son los únicos que presentan el caos determinista, ocurre también en los sistemas discretos. Un ejemplo, que podemos considerar clásico, es el de la iteración de la logística. Este ejemplo tiene la enorme ventaja de que cualquiera puede estudiarlo con la simple ayuda de una calculadora o, mejor aún, con una computadora casera (en la figura 3 encontrará el lector un programa en Basic para estudiar este ejemplo).

El proceso consiste en lo siguiente: tomemos un número cualquiera entre cero y uno y llamémoslo X_0 , apliquemos la fórmula:

$$X_1 = A X_0 (1 - X_0),$$

y obtendremos un nuevo valor: X_1 . Si ahora tomamos este nuevo valor y aplicamos la fórmula nuevamente obtendremos:

$$X_2 = A X_1 (1 - X_1),$$

continuando de esta forma construimos una sucesión de números, pues obtenemos el número X_{i+1} a partir del X_i por medio de la fórmula:

$$X_{i+1} = A X_i (1 - X_i).$$

Hay que destacar que si el valor de A está entre cero y cuatro, todas las X_i estarán entre cero y uno.

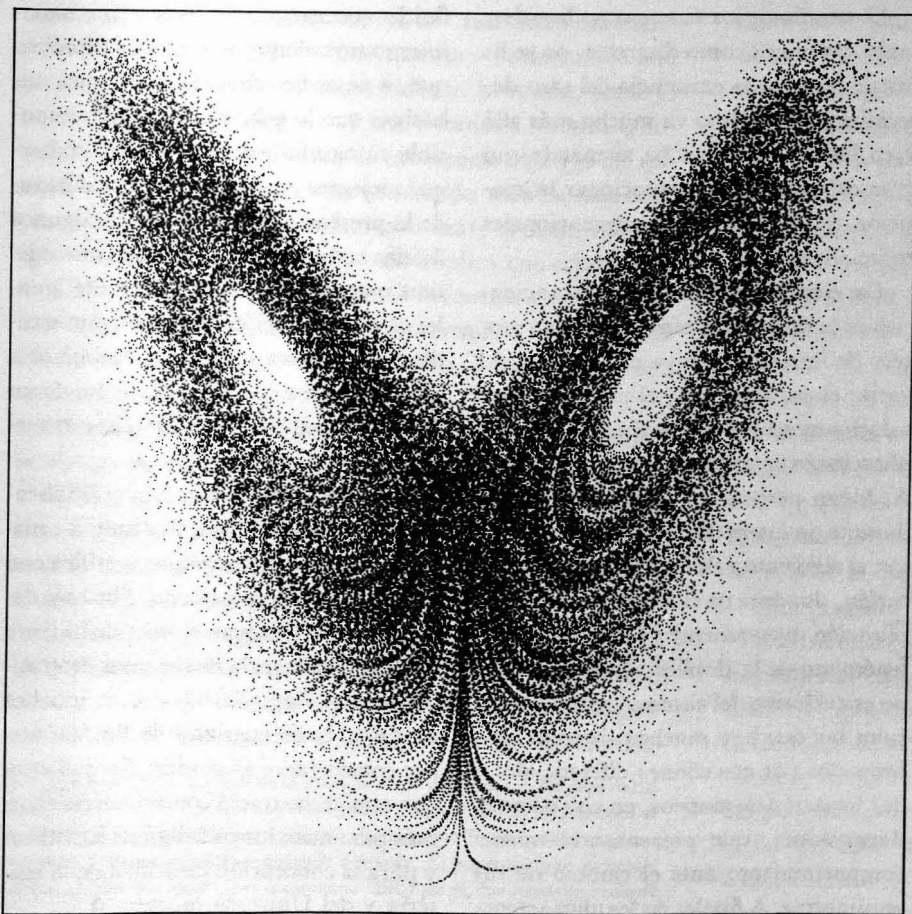


Fig. 2


```

10 PRINT " DE EL VALOR DEL PARÁMETRO A, DEBE ESTAR ENTRE 1 Y 4 "
11 INPUT A
20 IF A < 1 OR A > 4 THEN GOTO 500
30 PRINT "DE EL VALOR INICIAL DE x, ESTO ES X0, DEBE ESTAR ENTRE 0 Y 1"
40 INPUT x0
50 IF x0 < 0 OR x0 > 1 THEN GOTO 510
60 x = x0
70 FOR i = 1 TO 100: x = A * x * (1 - x): NEXT i
80 FOR i = 1 TO 150
90 x = A * x * (1 - x)
100 PRINT "n= ", i, "Xi= ", x
110 NEXT i
120 PRINT " DESEA DAR OTRO VALOR DEL PARÁMETRO, SI O NO"
130 INPUT s$
140 IF s$ = "si" GOTO 1 ELSE GOTO 150
150 PRINT "DESEA DAR OTRO VALOR INICIAL, SI O NO"
160 INPUT s$
170 IF s$ = "si" GOTO 30 ELSE GOTO 600
500 PRINT " ERROR EL VALOR DE A DEBE ESTAR ENTRE 1 Y 4, UD. DIO", A
501 GOTO 1
510 PRINT " ERROR EL VALOR DE X0 DEBE ESTAR ENTRE 0 Y 1. UD. DIO", x0
511 GOTO 30
600 END

```

Esta sucesión es equivalente a la solución de una ecuación diferencial y el valor X_0 a la condición inicial; estos sistemas se conocen como ecuaciones en diferencias finitas y tienen propiedades muy similares a las que tienen las ecuaciones diferenciales.

Desde luego la sucesión que obtengamos dependerá de X_0 y del parámetro A. Si A está comprendido entre uno y tres, notaremos que después de unas cuantas iteraciones llegaremos a un valor fijo, esto es, obtendremos siempre el mismo valor al iterar. Este valor dependerá del valor A, pero será independiente de la condición inicial, esto es, del valor asignado a X_0 .

Si a A le damos un valor comprendido entre 3 y 3.45... , por ejemplo 3.32, después de unas cuantas iteraciones veremos que los valores que obtenemos al iterar son dos y que estos dos valores simplemente se alternan; nuevamente estos valores son totalmente independientes del valor inicial, aunque dependen del valor asignado al parámetro A.

Si A está comprendido entre 3.45... y 3.54... ocurrirá lo mismo, pero ahora serán cuatro, y no dos, los valores que se alternarán al ir iterando. Si A está entre 3.54... y 3.56... serán ocho los valores que se alternen al iterar y así sucesivamente: al ir aumentando el valor de A, se irá duplicando el número de valores que se alternen al iterar; desde luego hay que hacer unas cuantas iteraciones iniciales para converger a este comportamiento periódico del sistema; una vez alcanzado el comportamiento periódico esos valores serán independientes de X_0 , aunque dependerán del parámetro A.

Este proceso de duplicación del periodo termina cuando alcanzamos un número

ro infinito de duplicaciones, lo que ocurre aproximadamente en el valor 3.5699456... del parámetro A. Para valores mayores (por ejemplo 3.91) podremos obtener órbitas caóticas; la sucesión de números obtenida por iteración es indistinguible de una sucesión de números aleatorios, pero está totalmente determinada por el propio proceso iterativo. Se reproduce, con todas sus características, el fenómeno del caos determinista, en esta ocasión para un caso en diferencias finitas. En el rango $3.5699... < A < 4.0$ también encontraremos valores de A que producen órbitas periódicas de periodos impares, por ejemplo para $A = 3.83$.

El estudio de los sistemas no lineales, tanto continuos como discretos, no se limita a mostrar la existencia del caos determinista, de hecho va mucho más allá y en los últimos años ha avanzado con gran celeridad. Baste mencionar la aparición de varias revistas internacionales especializadas en estos temas.

Un ejemplo importante de estas ciencias de lo no lineal lo ofrece el mismo proceso de iteración que ya estudiamos. Al variar el parámetro A, el periodo de las soluciones asintóticas se duplica, las duplicaciones ocurren en ciertos valores de A, luego permanece el mismo periodo durante un intervalo de valores, hasta llegar al siguiente valor de cambio o bifurcación, donde se da el fenómeno de la duplicación nuevamente. Pues bien, este fenómeno de la duplicación del periodo no es exclusivo del sistema estudiado; resulta ser que hay muchos sistemas, gobernados por ecuaciones diferenciales o por iteración de mapeos, en una o varias dimensiones, que presentan el mismo comportamiento ante el cambio de sus parámetros. A finales de los años setenta

Feigenbaum realizó un descubrimiento importante sobre este fenómeno. Imaginemos que llamamos A_1 al valor del parámetro en el que comienza la región de periodo dos, con A_2 denotamos el valor para el que ocurre la bifurcación a periodo cuatro y así sucesivamente, esto es, A_n denota el valor de A para el cual ocurre la bifurcación a periodo 2^n . Naturalmente estos valores serán distintos en cada caso de ocurrencia del fenómeno de doblamiento del periodo, sin embargo la cantidad:

$$d = \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{A_i + 1 - A_i}{A_i - A_{i-1} - 1}$$

tendrá el mismo valor para cualquier proceso de esta naturaleza.

El número d, cuyo valor es 4.6692... , es, en cierto sentido, universal. Aparecerá en todo fenómeno de duplicación del periodo que tenga como esencia el mismo fondo matemático que la iteración de mapeos como el que estudiamos.

Una de las principales consecuencias de este hecho, y otros similares, es proporcionar un método para estudiar experimentalmente sistemas muy complejos. Un ejemplo de esto lo obtenemos en el estudio de la turbulencia. Cuando un fluido comienza a presentar un movimiento turbulento, se hace tan complejo que, a pesar de conocerse las ecuaciones básicas que lo gobiernan, ha sido imposible su estudio matemático. Sin embargo, recientes experimentos han mostrado la presencia del número d en algunos fluidos turbulentos y esto indica mecanismos matemáticos sustancialmente iguales al de la iteración de mapeo que estudiamos. En este sentido, la turbulencia no es otra cosa que el movimiento de un fluido en un régimen de caos determinista.

Estudios como éste se han multiplicado en los últimos años, llegando a constituir una nueva disciplina científica con importantes repercusiones. Por hoy deseamos sólo destacar el descubrimiento básico: la existencia de sistemas deterministas pero impredecibles y, en muchos sentidos, indistinguibles de los fenómenos considerados aleatorios. No dudamos que este hecho traerá consecuencias enormes para nuestros paradigmas científicos y para la concepción científica de la materia y del Universo mismo. ♦

LOS DETERMINISMOS DE LA FÍSICA

Tomás Brody

A través de los años se ha discutido mucho acerca del determinismo o indeterminismo en la física. La principal pregunta suele ser si las teorías de la física son deterministas o solamente probabilistas; se dice, por ejemplo, que la física clásica —la del siglo XIX— era determinista pero que la mecánica cuántica nos ha obligado a abandonar esta posición. Pero se va más allá; de tales posiciones se intenta destilar un jugo ontológico que como trataremos de demostrar aquí es ilícito.

Un caso típico de esto lo vemos en la mecánica cuántica que comúnmente se describe como esencial indeterminista, en oposición a la física clásica, supuesta totalmente determinista; el pensamiento más ortodoxo ve el origen de tal indeterminismo en el papel central que juega en la mecánica cuántica la función de onda cuyo cuadrado sólo nos da probabilidades de observar cosas, no nos da el tipo de predicción firme que resalta de la mecánica de partículas puntiformes. De ello se saca la conclusión de que el mundo es “esencialmente indeterminista”, con lo cual —se nos informa— se derrumba uno de los pilares de la filosofía materialista. Más aún, como el azar y la probabilidad se ven como debidos a nuestra ignorancia y no como la expresión de un aspecto objetivo del sistema estudiado, se llega a una conclusión todavía más contundente: en la mecánica cuántica el azar, es decir, nuestra ignorancia, es de la esencia, lo cual implica que estamos en el límite de lo que puede alcanzar la investigación científica; la mecánica cuántica, dicho en otros términos, constituye la última teoría general que ideará la física, constituye su frontera definitiva.

Tales argumentos se basan en confusiones y sobresimplificaciones las cuales hay que sacar de la oscuridad que les ha permitido enraizarse entre las ideas generalmente admitidas. Con este objeto proponemos aquí cuatro tesis que si bien no acaban con el problema, por lo menos lo colocan —esperémoslo— en un terreno más cercano a la realidad.

La primera tesis es que el determinismo no es una característica ontológica sino una noción epistemológica. Es decir que no es el mundo en que vivimos lo que podemos caracterizar como determinista, sino solamente tal o tal descripción

El trabajo Los determinismos de la física fue escrito por Tomás A. Brody probablemente alrededor de 1985 y para un público general pero interesado en los problemas de la filosofía de la física. Algunas de las tesis aportadas por Brody en este trabajo son novedosas y merecen un estudio y desarrollo detallados. El propio Brody en un trabajo ulterior un tanto más técnico (pero con el mismo título) que quedara inconcluso reabrió estos problemas.

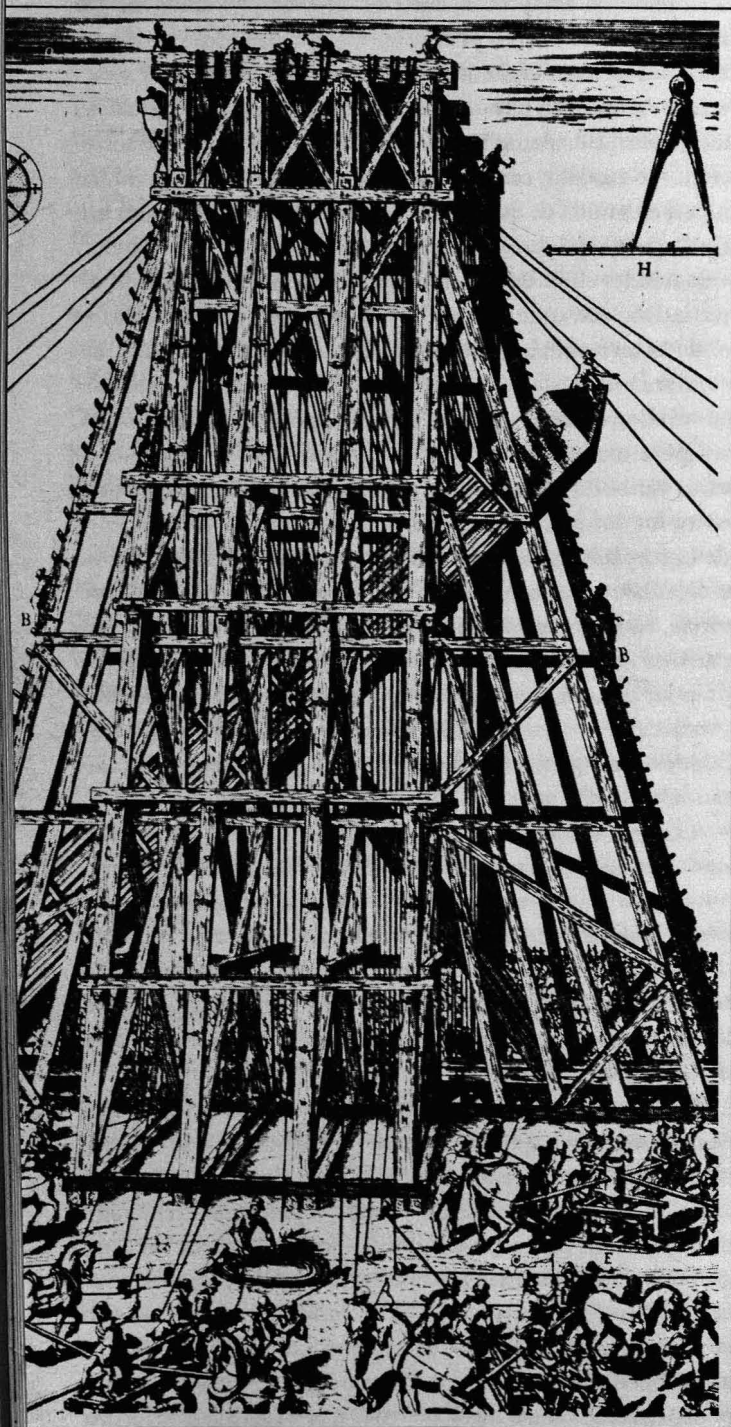
que demos de una fracción de él. Un ejemplo hará obvia la distinción: el comportamiento de un cierto volumen de gas se puede describir (en principio, con los métodos de cálculo actuales estamos limitados a casos con algo como 1000 moléculas o menos) en términos de las trayectorias que siguen las moléculas, calculadas con la mecánica clásica. Esta descripción —o modelo, como suele decir el físico— es determinista, en el sentido de que dadas las posiciones y velocidades iniciales están perfectamente determinadas las posiciones y velocidades en cualquier momento posterior. Un modelo alternativo, determinista también aunque en otro sentido, es el de la termodinámica clásica; sin hablar de moléculas, sin siquiera esta variable fundamental que es el tiempo, establece relaciones entre variables de otro tipo: presión, volumen, temperatura, entropía; aquí el conocimiento de algunas de estas variables permite deducir todas las demás. La conexión entre los dos modelos se hace mediante un tercer modelo, el de la mecánica estadística. En este modelo se mantienen las moléculas, pero en vez de seguir individualmente sus trayectorias, hacemos promedios sobre las condiciones iniciales compatibles con las condiciones macroscópicas que estamos pidiendo; he aquí, pues, un modelo probabilístico que no hace predicciones exactas e incondicionales, sólo nos da probabilidades para que suceda tal o cual cosa. A pesar de ello, este modelo es más poderoso que los otros dos.

Los tres son modelos para el mismo sistema físico, cada uno con sus ventajas y limitaciones peculiares. Es evidente ahora que no podemos atribuir la propiedad de determinismo al sistema mismo cuando tenemos dos descripciones deterministas (en diferente sentido) y una indeterminista. Hablar de que las moléculas del gas “son” deterministas o no lo son carece de sentido: es el modelo teórico al que se le puede aplicar la descripción.

La cosa pierde su aspecto sorprendente si recordamos que es precisamente mediante el modelo que hacemos predicciones sobre el comportamiento futuro del sistema: “determinista” o “indeterminista” caracteriza la predicción. Es cuando conocemos (o creemos conocer) profundamente bien un sistema, cuando nuestro modelo es muy adecuado, que a veces podemos permitirnos el lujo de confundir el modelo con el sistema modelado. Esto es precisamente lo que pedimos a una buena teoría, poder usar el modelo en vez del sistema, poder hacer teoría en lugar de tener que experimentar. Pero

cuando examinamos filosóficamente esta misma teoría (o cuando estudiamos su validez), no podemos confundir las dos cosas, la descripción y el sistema descrito. Una analogía: sería inadmisible confundir "México tiene 15 millones de habitantes" con "México tiene 6 letras" para obtener "México tiene una letra para cada dos millones y medio de habitantes", ni podemos preguntar si México se compone de letras más bien que de habitantes.

Cabe notar que reconocer que el espíteto de determinista no se aplica al mundo, aceptar que —en la jerga actual de los filósofos— usarlo así constituye un error de categoría, invalida una buena parte de las discusiones tradicionales sobre nuestro tema; más o menos como advertir la distinción entre una cosa y su nombre invalida el pensamiento mágico. Los modelos que construimos de la realidad no tienen efecto so-



bre ella sino en la medida que nosotros los usamos para guiar nuestras acciones sobre esta realidad.

La *segunda tesis* que aquí se propone nos dice que el término "determinismo" en realidad cubre varias nociones distintas y que hay que distinguir. Arriba ya vimos que dos modelos diferentes conllevan tipos diferentes de determinismo: uno ligado a la evolución en el tiempo de las trayectorias, otro en que las variables, independientes del tiempo, se condicionan unas a otras. También hay determinismos espaciales, como el de un tapiz en el que inferimos el dibujo de las flores en una esquina a partir de lo que vemos en otra. En la física se infiere de manera análoga la estructura cristalográfica de un cristal macroscópico a partir de observaciones sobre diminutas fracciones de él. Se puede ir más lejos: de experimentos sobre unas cuantas muestras de una sustancia sacamos conclusiones del tipo de "el cobre (es decir, cualquier muestra de cobre) es un metal rojizo, excelente conductor de calor y electricidad, con un óxido de color verde." Esta inferencia no es temporal, pero tiene la estructura de un determinismo: observación de ciertos datos en algunas muestras, una teoría de que estas propiedades se originan en la constitución material de las muestras, y la conclusión de que si otras muestras tienen algunas de estas propiedades también tendrán las demás.

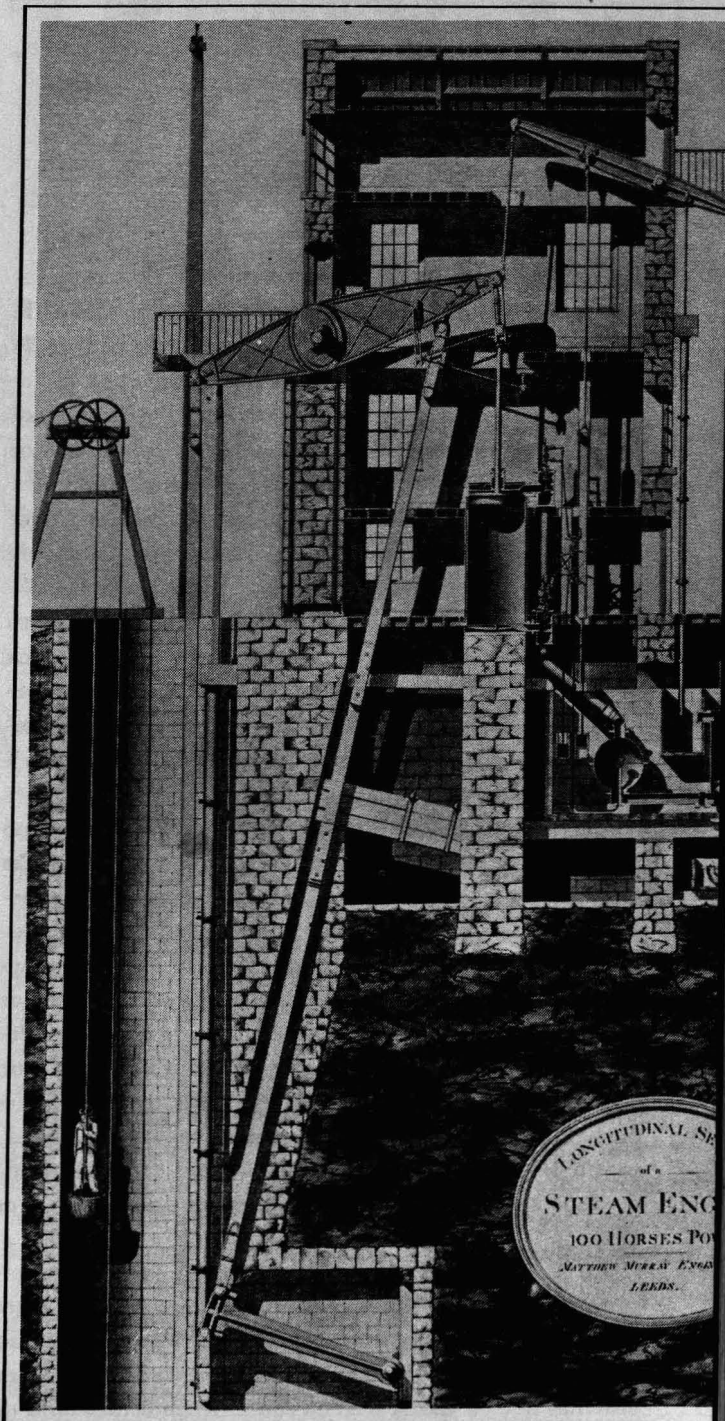
Aun el determinismo temporal, en su forma más tradicional, no carece de distinciones relevantes aquí. Tomemos el ejemplo de la electrodinámica de Maxwell, la teoría que predijo la existencia de las ondas de radio. Las ecuaciones maxwellianas admiten soluciones expresadas en términos de los potenciales de Liénard-Wiechert de dos tipos, retardados y adelantados, que respectivamente permiten calcular el estado del campo electromagnético para el pasado y el futuro. Ha habido mucha discusión confusa sobre cuál de los dos potenciales debe emplearse en las aplicaciones; hay quienes arguyen que usar el potencial adelantado, escrito como función del tiempo por venir, viola el principio de causalidad. Pero ya en 1909 Einstein dio una respuesta muy clara al problema, sólo que desde entonces se ha olvidado: con tal de que tratemos un sistema confinado a una región finita, los dos tipos de potencial son perfectamente válidos y corresponden a dos situaciones distintas. Si tomamos como punto de partida las condiciones del campo en la frontera de la región finita en un instante inicial, entonces el potencial retardado nos sirve para calcular la evolución futura del sistema; si en cambio usamos las condiciones finales, el potencial adelantado nos describe cómo evolucionó el campo para llegar a este estado final. En un caso tenemos un determinismo anterior (o hacia adelante), en el otro uno posterior (o hacia atrás). Aquí decide no el sistema ni tampoco el modelo empleado, sino simplemente el tipo de condiciones en la frontera con las cuales arrancamos el cálculo. De hecho, como mostró Einstein, no hay inconsistencia: partiendo de condiciones iniciales obtenemos la conformación final del campo, partiendo de ésta hacia atrás recuperamos las condiciones iniciales. Incluso podemos usar condiciones mixtas entre iniciales y finales, o condiciones en un instante intermedio, si así conviene para el problema que hay que resolver.

En este último caso calculamos tanto el futuro del sistema como su pasado a partir de los mismos datos en la frontera. Se ve que el determinismo aquí es bidireccional; y de hecho la distinción entre este tipo de determinismo y el determinismo unidireccional —que sólo permite predicciones o sólo retrodicciones— resulta más significativo filosóficamente que el contraste anterior-posterior. Un proceso descrito con un modelo bidireccional es reversible: si invertimos el signo del tiempo en todas las ecuaciones (si “corremos la película hacia atrás”) obtenemos la descripción de otro proceso que también es factible. Un proceso unidireccional no se puede invertir así. En cambio, puede presentar fenómenos al azar: por ejemplo los procesos no lineales pueden exhibir una extraordinaria gama de diferentes comportamientos azarosos cuyas complejidades y ricas estructuras forman ahora un tema de muchas investigaciones. (El apéndice exhibe más detalle.)

El ejemplo electromagnético subraya también otro aspecto. Como mencionamos, la compatibilidad de los determinismos anterior y posterior se obtiene solamente dentro de sistemas finitos y acotados; en cambio, el determinismo de las ecuaciones de la mecánica clásica no tiene tales restricciones. Esta distinción entre lo que podemos llamar determinismo confinado y determinismo global tiene implicaciones filosóficas: la forma global y bidireccional puede extenderse a ser además total, a englobar todas y cada una de las propiedades que podrían concebiblemente entrar en la descripción del mundo; esta forma, asociada con el nombre de Laplace, adquiere matices ontológicos cuando implica que por detrás de modelos con otras formas de determinismo menos “perfectas” debe haber la posibilidad de un modelo que lo exhibe perfecto, total, global y bidireccional. El determinismo laplaciano, en la medida que se ve ontológico, adquiere un carácter fatalista: todo, absolutamente todo acontecimiento está rigurosamente determinado y a su vez entra en la determinación de todo acontecimiento futuro. No se admite, pues, ningún libre albedrío. Desgraciadamente la física —que supuestamente origina y respalda este género de fatalismo inexorable— no presenta ningún ejemplo de un determinismo laplaciano. Los que encontramos son en su mayoría confinados o unidireccionales o ambas cosas. Hasta el de la mecánica newtoniana, global y bidireccional, no es total: se refiere solamente a las variables, como posición o velocidad, que describen el movimiento de las partículas. La extrapolación de que todas las propiedades del mundo físico pueden reducirse a los movimientos de sus partículas constituyentes es un agregado metafísico, extraño a la física misma. Por otro lado, el exacto determinismo de la mecánica clásica es el determinismo del modelo teórico: su aplicación a la realidad viene limitada por la inevitable imprecisión con la que podemos fijar las condiciones en la frontera, por la imposibilidad de tomar en cuenta todas las fuerzas entre las partículas o siquiera las que actúan entre las partículas y cuerpos exteriores al sistema. Tenemos aquí una confusión nada útil entre lo que tiene bases sólidas en la física y lo que suele propalarse bajo el manto protector de la filosofía académica.

Una confusión semejante se observa en la costumbre muy difundida de hablar de causalidad y determinismo como si

fueran sinónimos. Tal vez sería menos absurdo presentarlos como incompatibles. Para que podamos hablar de causalidad, debe tener sentido distinguir entre los factores en nuestro modelo que son causas y aquellos que no lo son —y que por lo tanto podemos eliminar de nuestra descripción si tampoco son efectos; pero muchos determinismos, y en particular el laplaciano, son totales y se refieren a todos los factores involucrados en el modelo. Si la causalidad tiene relación con algún determinismo, ha de ser con una forma confinada y parcial. Más aún, el concepto de causalidad se sale del marco de lo que da el determinismo. Un modelo determinista establece una relación entre ciertas variables, lo que en física se expresa mediante ecuaciones; ahora bien, estas ecuaciones permiten escribir algunas de estas variables en términos de las otras, pero pueden transformarse de múltiples maneras, y la selec-



ción de las variables que figuran como resultado parece arbitraria. Entonces, ¿cuáles de todas las variables representan causas, cuáles efectos?

La respuesta no puede venir de dentro del sistema. Esta conclusión sorprendente se aclarará mediante un ejemplo. Un volumen de gas se suele describir (con suficiente precisión para nuestros fines) mediante la ecuación:

$$pV = nRT$$

en donde p es la presión del gas, V su volumen, T la temperatura; n representa la cantidad de gas, mientras R es la constante universal de gases. También podemos escribir esta ecuación en la forma:

$$p = \frac{nRT}{V}$$

y usarla para determinar el aumento de presión que resulta si calentamos el gas hasta una temperatura T' ; o podemos escribirla:

$$T = \frac{pV}{nR}$$

para deducir la temperatura que resultará si comprimimos el gas a una presión p' . En el primer caso el aumento de la temperatura ha de considerarse como la causa del cambio de presión; en el segundo, al revés. ¿A qué se debe la diferencia? En el primer caso calentamos el recipiente del gas, colocándolo sobre una fuente de calor; en el segundo movimos un émbolo, usando energía mecánica que se origina fuera del sistema. Y es nuestra decisión de hacer una cosa más bien que la otra lo que transforma en causa el cambio de una de las dos variables y en efecto el cambio de la otra. La causalidad tiene por lo tanto un importante aspecto subjetivo: pero —contra todas las ideas tradicionales— este aspecto radica en nuestra acción sobre el sistema y no en las ideas que revolvemos en la cabeza (salvo, evidentemente, aquellos conceptos que empleamos para tomar la decisión de cómo actuar).

Pero la acción no tiene que ser nuestra. Aunque éste es el caso que más nos interesa y en donde sin duda se originó el concepto de causalidad, en el Universo hay otras muchas situaciones a las cuales se ha de aplicar el término. En general, lo que normalmente establece la dirección de un nexo causal —lo que discrimina entre causa y efecto— es la interacción con otro sistema no comprendido en el modelo que hemos usado. Pero si este otro sistema está fuera de nuestro modelo, también está fuera de cualquier determinismo de los que ocurren en la física. Excepto, por supuesto, del determinismo laplaciano, en el cual de todos modos no hay causalidad, ya que la distinción entre causa y no-causa carece de sentido: todo es causa si precede el instante del presente, todo es efecto si le sucede.

La descripción causal se sale del simple marco determinista y se sitúa en el nivel ontológico de las relaciones entre diferentes sistemas. Es una propiedad intrínseca de nuestro mundo que, a pesar de su esencial unidad, se deja dividir en sistemas que en buena medida son independientes unos de

otros pero que al mismo tiempo interactúan de tal modo que dentro de cada sistema podemos expresar su influencia en términos de causa y efecto. Observar este hecho, darse cuenta que constantemente nos movemos de una división en sistemas a otra, formando nosotros estos sistemas ya teóricamente, ya por nuestra interferencia experimental (e incluso ambas cosas), observar todo esto no sólo es ver las implicaciones ontológicas de la causalidad; es empezar a comprender cómo podemos primero llegar a entender cómo funciona la naturaleza y luego aprovechar este entendimiento para actuar sobre ella en beneficio nuestro.

Podemos resumir esta discusión en nuestra *tercera tesis*: la causalidad es compatible con ciertos determinismos pero rebasa su marco, ya que contiene elementos ontológicos significativos; las formas de determinismo compatibles con la causalidad lo son también con la ocurrencia de fenómenos azarosos. Causalidad y azar por ende no se oponen sino se complementan; hay oposición solamente entre el azar y determinismos que como el laplaciano no tienen cabida en la física.

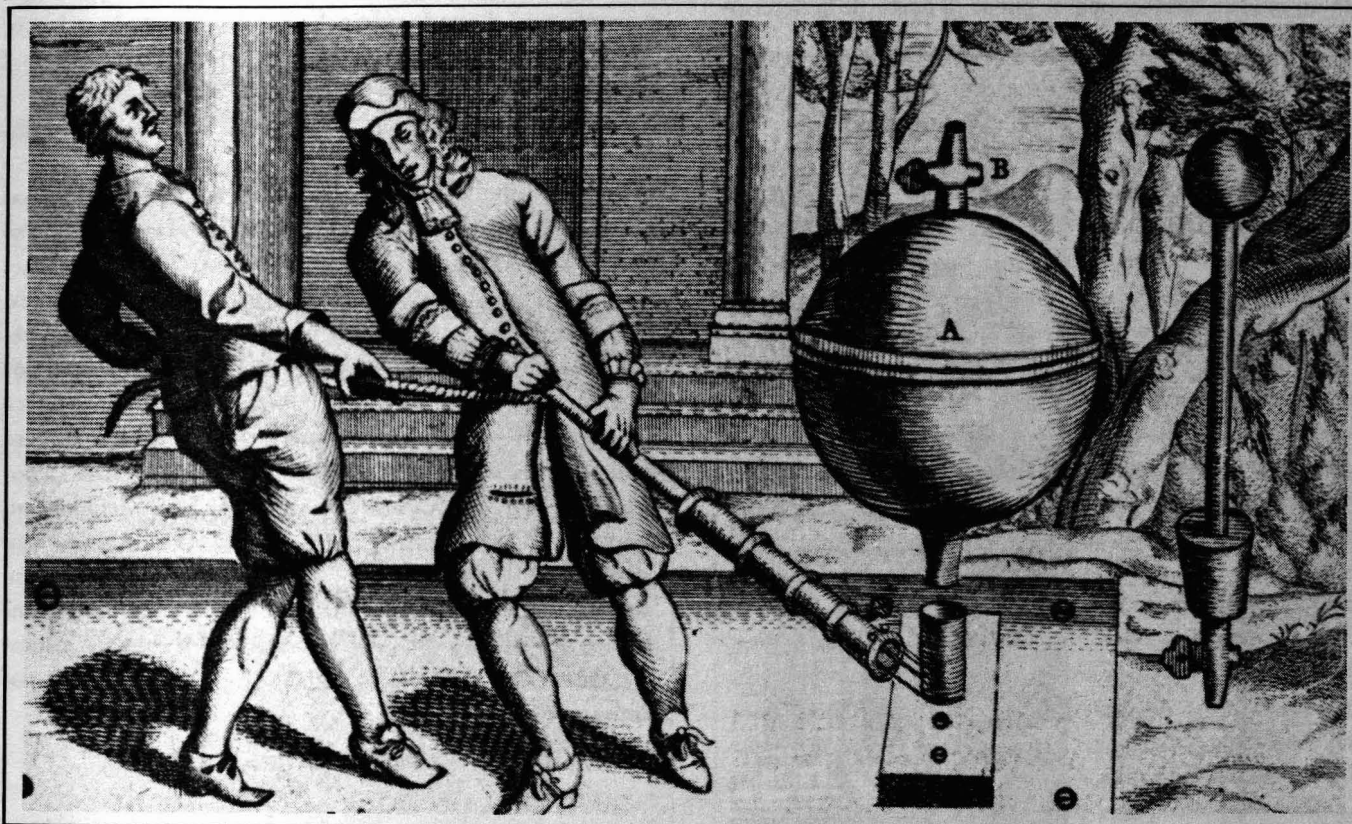
Esta tesis hace patente que los argumentos tradicionales sobre las implicaciones acausales de la mecánica cuántica son poco sólidos. Del hecho de que la mecánica cuántica utilice el concepto de la probabilidad en forma irreducible no se puede concluir que no admite la causalidad, ni tampoco que no podemos ir más lejos en la física; más bien es una indicación de que nuestro entendimiento del lazo entre un sistema cuántico y el resto del Universo es incompleto; y esto es precisamente lo que nos decía Einstein hace medio siglo. Esta idea se ve confirmada por los esfuerzos para “completar” (más adecuadamente, reformular) la teoría, que en los últimos diez o quince años parece finalmente haber encontrado el buen camino. La clave está en considerar como abiertos los sistemas que muestran un comportamiento cuántico, como en constante interacción con el resto del mundo. Pero estas interacciones no se pueden describir explícita y detalladamente, porque entonces simplemente habríamos ampliado el sistema que contempla nuestro modelo al punto de volverlo inmanejable; la descripción tiene que ser estadística, tiene que promediar cómo se comporta el sistema bajo todas las interacciones posibles. La evolución temporal que resulta es la de un proceso estocástico que exhibe estados de equilibrio cuasi-estacionarios: los estados cuánticos. Falta mucho aún para redondear esta teoría (y ya no entro en más detalles técnicos), pero ya ha tenido varios éxitos, y sobre todo goza de una claridad conceptual que ya no permite aberraciones como las que hemos mencionado y otras más que figuran en la literatura sobre el tema. En cuanto a nuestro problema aquí, la teoría muestra aspectos deterministas e indeterministas cuyas relaciones son claras, puede dar lugar a modelos causales y a modelos probabilísticos, puede dar lugar también a modelos que combinan ambos aspectos. En todo esto se asemeja pues bastante a las teorías de la física clásica, más de lo que hace la mecánica cuántica en su forma tradicional; en otros aspectos, desde luego, difiere grandemente. . .

La discusión que precedió la tercera tesis introdujo la noción del sistema como algo que en buena medida está aislado

del resto del Universo, si bien no totalmente. Esta misma noción está a la raíz de la *última tesis* que aquí propondremos: las cantidades de interés en la investigación científica (con escasas excepciones) no se pueden determinar con absoluta precisión; todas tienen lo que se llama límites de error experimental, límites que en realidad son estimaciones cuantitativas de la importancia de las fluctuaciones o perturbaciones que el sinfín de factores externos al sistema provoca en estas cantidades. Entiéndase bien: el hecho de que se necesitan establecer límites de error forma parte de la práctica normal de los experimentadores desde hace mucho tiempo; la tesis solamente explica el hecho mediante el concepto de sistema parcialmente aislado. El hecho en sí —cuya existencia y cuyas implicaciones la filosofía suele ignorar— tiene una consecuen-

de curvas sin espesor es suficiente. En cambio, un tubo que crece exponencialmente crece tan rápido que en poco tiempo ha llenado todo el espacio accesible: con ello la predicción se reduce a decir que la partícula “estará en algún lado”. La distinción que hemos esbozado difiere de la distinción entre determinismos en que depende de las características intrínsecas del sistema y no (en términos generales) de las condiciones iniciales; es pues más fundamental que la diferencia entre “determinismo” e “indeterminismo” (en sentidos no demasiado claros) que tanto preocupa a ciertos filósofos.

La esencia de la distinción entre procesos que divergen en forma polinomial y los que lo hacen en forma exponencial es que los primeros son (limitándonos a tiempos no demasiado largos) predecibles con errores aceptables, mientras los se-



cia importante para nosotros, en el sentido de que las trayectorias que predicen los modelos deterministas (curvas matemáticas sin espesor) no son más que una aproximación. Buena en muchos casos, burda en otros, bien inadecuada en otros más, pero siempre una aproximación.

Para aquellos casos en que la aproximación es insuficiente, podemos considerar tubos en vez de curvas, tubos cuyas dimensiones en el punto inicial vienen dadas por los límites de error en este punto. La evolución temporal podría hacerse contraer a los tubos, pero es más común que se ensanchen: la incertidumbre en los valores iniciales provoca una incertidumbre creciente a medida que pasa el tiempo. Estudios relativamente recientes han mostrado que el crecimiento puede ser de dos tipos, polinomial o exponencial. Con el tipo polinomial el tubo crece mucho menos violentamente que si fuera exponencial; la precisión de las predicciones disminuye poco a poco, pero siguen siendo útiles durante un buen lapso de tiempo. En este caso muchas veces la aproximación

gundos son impredecibles. Sin embargo, “impredecible” aquí no significa que con tales procesos no se puede lograr nada, científicamente hablando; simplemente hemos escogido mal nuestros métodos, posiblemente hay que usar un modelo diferente para este tipo de sistema. A otro nivel, esta misma impredecibilidad puede ser útil para darnos modelos excelentes e incluso deterministas. El ejemplo del gas ideal lo ilustra. El modelo a nivel molecular, el primero que discutimos arriba, resulta ser del tipo exponencial y no nos dará predicciones muy interesantes; pero este mismo hecho nos permite construir un modelo estadístico que resulta extraordinariamente útil, aunque sus predicciones no sean más que probabilísticas; y como hemos visto, sirve de base para ir más lejos y construir modelos perfectamente deterministas, sin tiempo y por ello sin el problema de la divergencia exponencial.

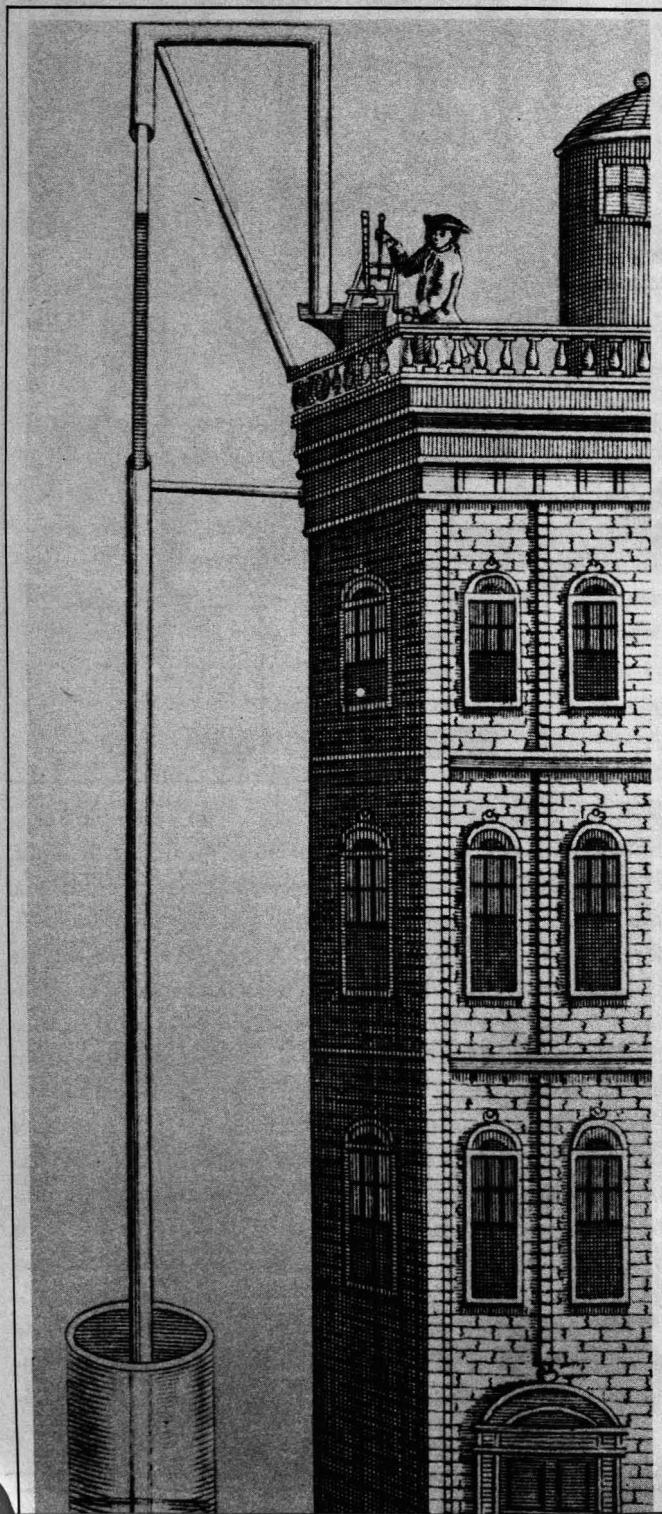
Nuestras cuatro tesis revelan que la manera habitual de formular los problemas del determinismo no corresponde realmente al modo de funcionar de la física. El carácter determi-

nista o indeterminista pertenece, no al mundo real, sino a los modelos teóricos que construimos para entenderlo; el término mismo de determinista cubre una gran variedad de diferentes relaciones entre variables físicas, y muchas de estas variedades ocurren entre los modelos que usa la física; algunas formas de determinismo admiten el azar, otras no son compatibles con él; determinismo y causalidad, tan lejos de ser sinónimos, difieren de modo fundamental, y algunas formas de determinismo son compatibles con la causalidad, otras no; finalmente encontramos un concepto cuyas implicaciones quedan aún por explorarse: la predecibilidad.

Para los filósofos queda mucho trabajo por hacer todavía.

APÉNDICE

En un modelo bidireccional se puede, a partir de la descrip-



ción del sistema en un instante dado, calcular tanto el futuro como el pasado del sistema. Es decir, si una variable x (o un conjunto de variables, caso —indispensable en la física— al cual la generalización es inmediata, de modo que aquí nos podemos restringir a la situación más sencilla) representa el estado del sistema al tiempo t , siendo por lo tanto x una función $x(t)$, entonces existe una transformación $T(t, t')$, con t' mayor que t , tal que:

$$T(t, t')x(t) = x(t')$$

en donde $x(t')$, el valor de x al tiempo t' , es el resultado unívoco de aplicar T a $x(t)$; y también existe $\bar{T}(t', t)$ tal que:

$$\bar{T}(t', t)x(t') = x(t)$$

y se recupera el estado original $x(t)$ como resultado unívoco. $\bar{T}$ es por ende el inverso de T y el mapeo representado por T es biyectivo.

En un modelo unidireccional existe una transformación $T(t, t')$ con t' mayor que t si se puede predecir el futuro; o existe la transformación $\bar{T}(t', t)$ si se puede retrodecir el pasado; pero la transformación que existe no tiene su inverso único. Existirá en cambio más de un posible valor; si existe T , entonces $\bar{T}$ nos llevaría a varias posibilidades diferentes, todas las cuales son predecesores del mismo estado del sistema desde el cual partimos hacia atrás. (Tiene que existir por lo menos uno, ya que en caso contrario el sistema se habría creado misteriosamente en el instante que contemplamos; pero éste puede ser cualquiera.) Que esta situación da lugar a posibles fenómenos azarosos se demuestra aquí mediante un ejemplo, más bien que con una deducción rigurosa, la cual requiere métodos matemáticos avanzados. Tomemos el caso en que en vez del tiempo t (que es una variable continua) tengamos sólo una variable $i = 1, 2, \dots$ que *numera* los instantes; entonces un ejemplo sencillo de las transformaciones posibles es:

$$x_{i+1} = T(i, i+1)x_i = 2x_i^2 - 1$$

(con x_i comprendida entre -1 y 1). Esta transformación es unidireccional: dado un valor de x_{i+1} no sabemos cuál de dos valores posibles de x_i le precedió en la serie de “tiempos” i . Por ejemplo, $x_i = \frac{1}{4}$ y $x_i = -\frac{1}{4}$ ambos llevan a $x_{i+1} = -\frac{7}{8}$. Ahora bien, si escogemos un valor inicial x_0 y generamos sucesivamente $x_1, x_2, \dots$, entonces puede resultar una de dos cosas: (a) después de un cierto número todos los valores son iguales; por ejemplo, si $x_0 = -\frac{1}{2}$ o si $x_0 = 1$, resulta que todos los números en la serie también tienen ese valor; si $x_0 = \frac{1}{2}$ o si $x_0 = -1$, entonces x_1 es diferente pero los que siguen todos valen lo que x_1 ; en la jerga técnica se dice que el sistema se ha vuelto estacionario a partir de la i en donde empiezan a ser iguales todos los valores. Alternativamente tenemos el caso (b), todas las x_i son diferentes, sin ninguna repetición.

El caso (b) obedece estrictamente a la definición matemática de una serie de números al azar (un “colectivo” en el

sentido de Von Mises); entre sus propiedades podemos citar:

(i) Miembros sucesivos de la serie son independientes en el sentido estadístico, es decir que si calculamos el valor número n y el valor número $n + 1$ a partir de muchas x_0 diferentes, no habrá ninguna especie de correlación entre ellos. Por lo tanto, productos como $x_i x_{i+k}$ sumados sobre todos los valores de i dan 0 para cualquier $k \neq 0$.

(ii) Si comenzamos dos series diferentes, una con $x_0 = a$ y otra con $x_0 = a + \epsilon$, entonces por pequeña que sea crecerá en forma exponencial la separación entre los dos valores de x_n cuando aumenta n (la diferencia es aproximadamente $= (-4)^n a \epsilon$), y rápidamente las dos series pierden toda semejanza y toda correlación. Para n muy grande, la diferencia ya no puede aumentar, en vista que las x_i siempre están entre -1 y 1 ; pero su correlación desaparece, y las diferencias

entre las dos series, al principio regulares y pequeñas, se vuelven a su vez números al azar.

(iii) Si tomamos muchos valores iniciales $x_0, x'_0, x''_0, \dots$, la distribución estadística de $x_n, x'_n, x''_n, \dots$ para n grande es la misma que la distribución que se observa a lo largo de una de las series; en términos técnicos, la transformación $T(i, i + 1)$ es ergódica.

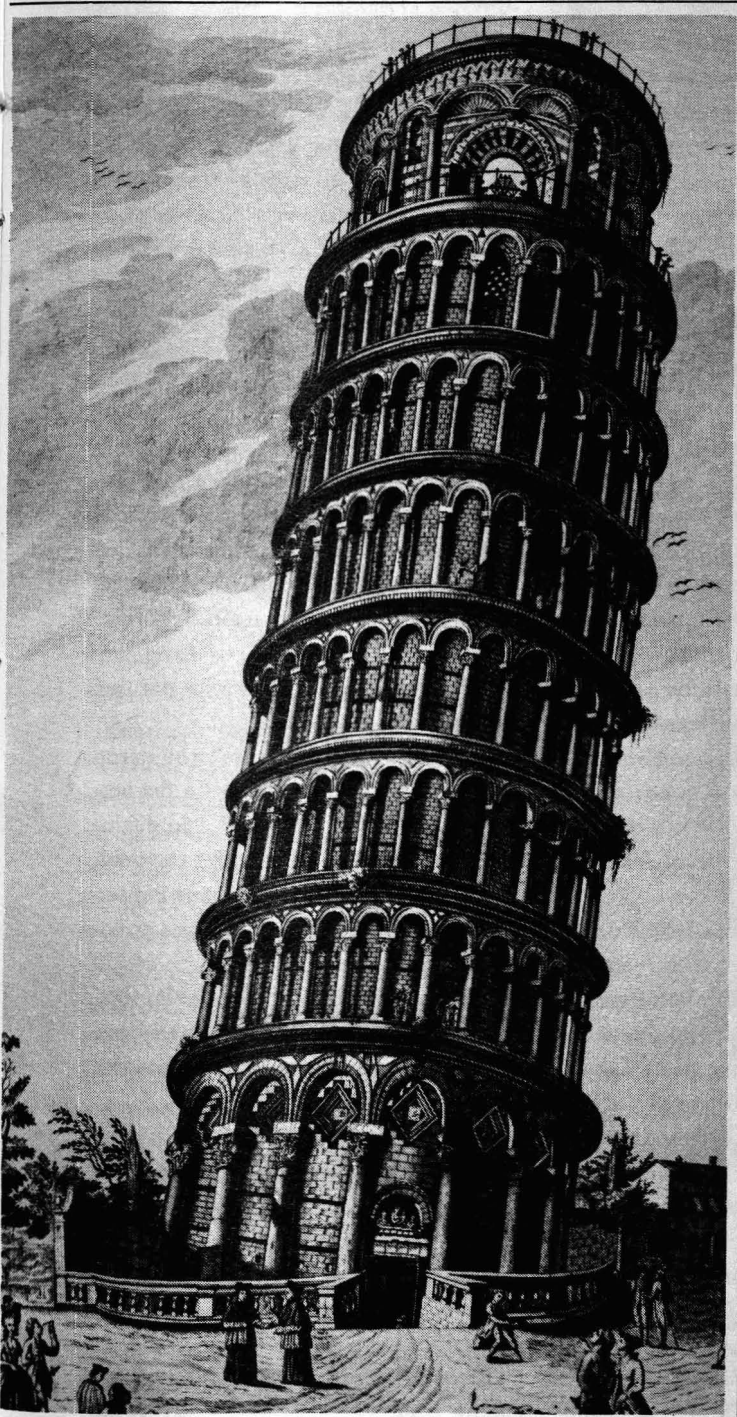
(iv) Si seleccionamos una subserie mediante cualquier criterio que no dependa del valor por seleccionarse, esta subserie tendrá las mismas propiedades estadísticas que la serie original. Este es el criterio de azar dado por von Mises.

A pesar de todas estas características que sólo esperamos ver en una secuencia caótica, al azar, la transformación que la genera corresponde perfectamente a lo que intuitivamente llamaría uno determinista. . .

Nótese que hay un número infinito de posibles valores x_0 iniciales que caen en el caso (a): dos cuando la estacionariedad se inicia con $n = 0$, otros dos para $n = 1$, luego 3 para $n = 2$, 6 para $n = 3$, etcétera. Pero el número de valores x_0 que acaban en el caso (b) —es decir, producen series que no se acaban— es aún mayor; el primero es “solamente” el número de números enteros, el segundo es el número de puntos en la recta. Y aun si por mala suerte tenemos una serie que terminará, con tal de que su longitud sea grande no es posible con pruebas estadísticas discriminar entre ella y una serie realmente infinita. En la medida en que el concepto se deja definir para secuencias finitas, éstas también son caóticas.

Por supuesto existen transformaciones con estas propiedades (y con otras aún más curiosas) cuando usamos una variable continua que puede verdaderamente representar el tiempo. Pero ya el caso sencillo que hemos visto ayuda a entender por qué las secuencias de números que generamos en las computadoras (mediante las llamadas rutinas generadoras de casuales) tienen todas las propiedades de las series al azar. Con estas series logramos simular, con el grado de precisión que pueda necesitarse, los procesos estocásticos y todos los fenómenos azarosos; este tipo de simulación, conocida como cálculos de Monte Carlo, se ha vuelto una herramienta extraordinariamente útil en aplicaciones tan variadas como el diseño de reactores nucleares y el estudio de procesos sociales.

Una computadora electrónica es el arquetipo de lo determinista, diríase, de lo exactamente previsible en su comportamiento. Que sea capaz de generar números casuales y con ellos imitar a la perfección los fenómenos azarosos es sorprendente para las concepciones filosóficas tradicionales; vemos su impotencia en el famoso dicho de von Neumann: “El que hable de generar números casuales mediante un algoritmo determinista se encuentra en un estado de pecado mortal.” En cambio, la tesis expuesta aquí de la multiplicidad de diferentes determinismos ofrece una explicación inmediata. Dado que la computadora borra el contenido anterior al escribir un resultado nuevo en su memoria, el determinismo al que obedece, por rígido que sea, es unidireccional y por ende compatible con los fenómenos azarosos. Las rutinas que generan números casuales, y los cálculos de Monte Carlo que las emplean, no hacen más que aprovechar esta posibilidad en forma sistemática. ♦



LOS CAMBIOS CONCEPTUALES DE LA FÍSICA

León Olivé y Ana Rosa Pérez Ransanz***



Los seres humanos no siempre han visto el mundo de la misma manera. Las visiones del mundo varían de acuerdo con los diferentes momentos históricos y en función de las distintas culturas.

La visión del mundo de la cultura occidental del siglo XX es diferente de cualquier otra que la haya precedido. Tiene la característica distintiva —entre otras— de estar fuertemente permeada por las concepciones del mundo que ofrecen las ciencias. Pero las concepciones científicas del mundo también han cambiado. Otros artículos que aparecen en este número ilustran algunas de las más novedosas ideas acerca del mundo físico. ¿Pero qué significa que puedan existir “visiones del mundo diferentes”? ¿Cómo es posible que las visiones del mundo cambien, incluyendo las concepciones científicas?

Al indagar sobre este tipo de cambios debemos preguntarnos qué es lo que cambia: los resultados de las ciencias (los

conocimientos), o sus presupuestos, o sus formas de razonamiento, o sus métodos de prueba; ¿o es que pueden cambiar todos esos elementos? También debemos preguntarnos por la forma en que ocurren estos cambios de visión del mundo, ¿se presentan según el modelo clásico de acumulación gradual de información, o según el modelo de revoluciones científicas propuesto por Kuhn, o según algún otro modelo? Estos son algunos de los problemas más importantes que se plantea la filosofía contemporánea del conocimiento y de la ciencia.

La filosofía de la ciencia recibió un vigoroso impulso entre los años veinte y cincuenta de este siglo, especialmente del trabajo de los filósofos que promovieron la corriente conocida como positivismo o empirismo lógico. Uno de sus postulados fundamentales consistía en la idea de que la decisión de aceptar o rechazar las teorías científicas debería basarse en los resultados de observaciones, las cuales, a su vez, se concebían como *independientes* de toda consideración teórica. Según esta concepción, mediante la observación es posible recopilar datos seguros, de una manera que esté libre de preconcepcio-

nes. El progreso de la ciencia consistiría, básicamente, en la acumulación de datos observacionales y en el desarrollo de teorías cada vez más comprehensivas que dieran cuenta de un número creciente de fenómenos, y la contrastación de las teorías frente a los datos se realizaría mediante métodos que no tendrían por qué cambiar de una época a otra.

En los años cincuenta se produjeron severas críticas a la concepción del empirismo lógico, en particular a su distinción entre lo teórico y lo observacional, y a la idea concomitante de que existen elementos absolutos e inmutables en los procedimientos científicos, como serían los datos observacionales “descontaminados” de toda teoría, y los métodos por los cuales pueden aceptarse o rechazarse las teorías científicas.

La obra de filósofos como Norwood Russell Hanson, Stephen Toulmin, Thomas Kuhn y Paul Feyerabend fue decisiva para rechazar la idea de la neutralidad de la observación y aceptar que las observaciones científicas están “cargadas de teoría”.

Estos filósofos sostuvieron que lo que cuenta como observación en ciencia, la

* Director del Instituto de Investigaciones Filosóficas.

** Investigadora del Instituto de Investigaciones Filosóficas.

manera en la que se recopilan datos, el juzgarlos como pertinentes para la aceptación o rechazo de teorías, así como la formulación de las teorías mismas, se realiza siempre desde un *entramado o marco conceptual* más amplio que establece justamente el interés por construir esas teorías y lo que se espera de ellas, es decir, qué problemas deben resolver y a qué campos de fenómenos se deben aplicar; también este marco establece los criterios para la evaluación de esas mismas teorías, e incluso determina la manera de ver los fenómenos, es decir, de conceptualizar la experiencia. Por todo esto, los marcos conceptuales determinan la perspectiva general bajo la cual se ve el mundo.

Pero más aún, los trabajos de Kuhn, particularmente su libro *La estructura de las revoluciones científicas* publicado en 1962, promovieron la idea de que incluso los *marcos conceptuales generales se desarrollan y cambian a lo largo de la historia de la ciencia*. De allí que una de las preocupaciones centrales de la filosofía de la ciencia actual sea la de proponer modelos de desarrollo del conocimiento científico que expliquen el cambio no sólo de las teorías, sino también de estos marcos conceptuales más amplios, a los que Kuhn se refirió con el término "paradigma".

Las ideas fundamentales del modelo de Kuhn

El patrón de desarrollo propuesto por Kuhn para el conocimiento científico —dentro de cada disciplina— puede dividirse en una serie de etapas. Comienza con una etapa llamada pre-paradigmática, en la cual coexisten diversas "escuelas" que compiten entre sí por el dominio en un cierto campo de la investigación. Entre estas escuelas existe muy poco (o ningún) acuerdo con respecto a la caracterización de los objetos de estudio, los problemas que hay que resolver y su orden de importancia, los métodos y procedimientos más adecuados, etcétera. Este periodo de las escuelas es seguido por el surgimiento y la aceptación, por parte de los científicos, de un paradigma dominante. La transición que experimenta un campo de investigación de la etapa pre-paradigmática a la post-paradigmática es considerada por Kuhn como el paso a la madurez.

Kuhn utiliza el término "paradigma"

básicamente en dos sentidos: uno, como logro o realización y dos, como conjunto de creencias y valores compartidos.

El primer sentido se refiere a las soluciones exitosas y sorprendentes de ciertos problemas, las cuales son reconocidas por toda la comunidad pertinente y sirven de guía en la investigación durante un cierto tiempo. Esto es, paradigma es un caso concreto de solución (o de explicación de un fenómeno), que funciona como ejemplo y modelo a seguir en las investigaciones subsecuentes. El segundo sentido de "paradigma" se refiere al conjunto de métodos, criterios y generalizaciones (leyes), que comparten quienes han sido entrenados para continuar el trabajo de investigación. Se podría decir que paradigma en este sentido es el conjunto de presupuestos básicos, de compromisos que comparte la comunidad encargada de desarrollar una cierta disciplina científica. La relación entre los dos sentidos de paradigma se puede ver como sigue: paradigma como conjunto de compromisos compartidos (segundo sentido) es aquello que presuponen quienes modelan su trabajo sobre ciertos casos paradigmáticos (primer sentido).

El establecimiento de un paradigma marca el inicio de una etapa de "ciencia normal". La ciencia normal consiste básicamente en una actividad de resolución

de enigmas (acertijos). A través de esta actividad el paradigma dominante se va haciendo cada vez más preciso y mejor articulado, en la medida en que se va extendiendo su campo de aplicación a nuevos fenómenos y se resuelven problemas que ya existían en ciertas áreas del conocimiento. La etapa de ciencia normal es conservadora: no se trata de buscar innovaciones sino de explotar al máximo, tanto en alcance como en precisión, el potencial explicativo del paradigma dominante. Este periodo también es acumulativo; dado que el paradigma mismo no se cuestiona, dado que el conjunto de supuestos básicos permanece inalterado y, por tanto, se trabaja todo el tiempo bajo las mismas reglas del juego, todos los resultados se producen en la misma dirección y se pueden montar unos sobre otros sin que surjan conflictos. Cada vez se tienen más y mejores resultados. El sentido y la medida del progreso, dentro de cada periodo de ciencia normal, es totalmente claro.

Sin embargo, el desarrollo de la ciencia normal, con su creciente especialización y articulación, y con su constante afán de extender los límites de su aplicación, conduce por sí mismo al descubrimiento de problemas o enigmas que se resisten a ser resueltos con las herramientas que proporciona el paradigma vigente. A este tipo de enigmas Kuhn lo llama anomalía. Si bien es cierto que la adecuación entre un paradigma y la "naturaleza" nunca es total o perfecta —ya que siempre y desde un principio existen desajustes que el paradigma no puede arreglar— el surgimiento de ciertas anomalías indica que algo anda mal a nivel profundo, y presiona por un cambio en los supuestos básicos del paradigma para encontrar una solución. Esta etapa en que se cuestiona la eficacia y la corrección del propio paradigma que ha guiado la investigación normal, es la etapa de crisis. La crisis, entonces, se genera cuando el paradigma vigente se va mostrando cada vez más incapaz de resolver las presionantes anomalías y se considera necesario un total replanteamiento del campo de investigación.

En esta etapa de crisis comienza la "ciencia extraordinaria", esto es, la actividad de buscar y proponer paradigmas alternativos. Este punto es fundamental



en la concepción de Kuhn, ya que por más anomalías que confronte un paradigma, según él, los científicos no lo abandonarán a menos que exista otro alternativo, que al ofrecer una nueva manera de ver las cosas y de plantear los problemas, permita la solución o explicación de las anomalías.

Cuando se cuenta con un paradigma alternativo que se muestra exitoso frente a las anomalías que habían puesto en crisis al paradigma dominante, se produce una revolución. El cambio de un paradigma a otro se da a través de una revolución. Kuhn utiliza el término "revolución" porque, de acuerdo con su modelo, la situación que se produce entre los defensores del viejo paradigma y los que proponen el nuevo, es análoga a la situación de lucha que se genera durante las revoluciones políticas y sociales. Con esta tesis Kuhn se opone totalmente a los modelos clásicos (empiristas y popperianos) de elección de teorías. Al describir el cambio de paradigmas —o de teorías que pertenecen a paradigmas distintos— como una revolución, niega que la elección sea una cuestión que se pueda resolver aplicando un algoritmo. No existen criterios de prueba lógica o de apelación a la evidencia que sean *suficientes* para resolver la disputa. Las diferencias que surgen entre los contendientes durante una revolución científica pueden llegar a ser tan profundas, según Kuhn, que impidan llegar a cualquier acuerdo acerca de qué cuenta como razones decisivas a favor de alguno de los paradigmas en competencia.

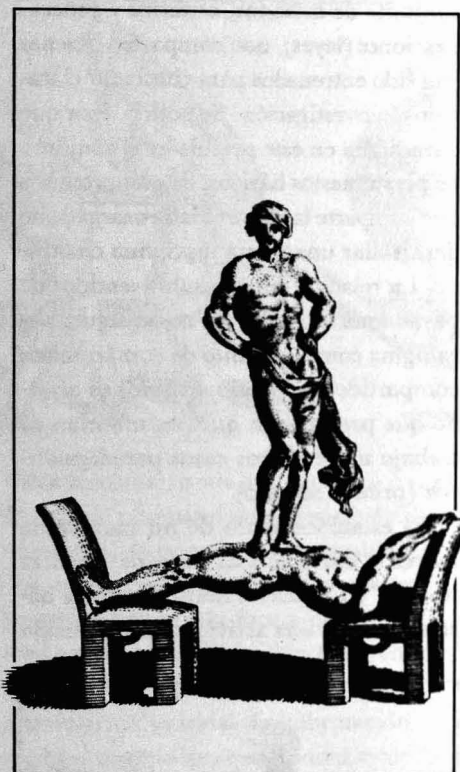
Los cuerpos de conocimiento separados por una revolución, es decir, insertos en paradigmas diferentes, son muy difíciles de comparar, y puede llegar a ser el caso que no exista una medida común de su éxito, esto es, pueden llegar a ser incommensurables. Un cambio de paradigma es análogo, dice Kuhn, a un cambio gestáltico, donde los mismos objetos se ven bajo una óptica distinta. Se trata de una transición a una *nueva forma de ver el mundo*. Kuhn incluso llega a afirmar que los científicos que adoptan un nuevo paradigma experimentan una especie de conversión, y que "después de una revolución los científicos trabajan en un mundo diferente".

De esta manera, el modelo de desarro-

llo científico propuesto por Kuhn establece que una vez que una cierta disciplina científica se ha consolidado como tal, es decir, cuando ha superado la etapa pre-paradigmática, pasa entonces, una y otra vez, mediante la secuencia: ciencia normal-crisis-revolución-nueva ciencia normal.

Críticas de Laudan y de Shapere al modelo Kuhniano

Las ideas de Kuhn aquí esbozadas han sido criticadas por filósofos de la ciencia



que han propuesto modelos alternativos de desarrollo científico. Entre éstos vale la pena destacar los modelos de Imre Lakatos, Paul Feyerabend, Larry Laudan y Dudley Shapere.

Los dos últimos autores han desarrollado un trabajo de gran influencia en la presente década. Laudan en el libro *Science and Values*, publicado en 1984, criticó la posición de Kuhn, entre otras cosas, porque ésta sugiere que los paradigmas están compuestos por diversos elementos rígidamente relacionados entre sí, de manera que al cambiar uno de ellos, necesariamente se ven afectados los otros, por lo cual cualquier cambio en algún componente implica un cambio del paradigma en su totalidad. Laudan, en cambio, propone que puede haber un cambio di-

ferencial dentro de los diversos niveles de un paradigma, de modo que al producirse cambios en alguno de esos niveles no cambian los otros necesariamente.

Laudan sostiene que existen tres niveles fundamentales en los marcos conceptuales de la ciencia: las teorías científicas, junto con sus compromisos ontológicos; los métodos; y los valores de la ciencia que determinan, entre otras cosas, las metas que la misma persigue. Estos tres campos están estrechamente relacionados: cambios en uno de ellos pueden afectar a los otros, y la permanencia de uno de ellos también puede obstaculizar cambios en el resto. Pero de ninguna manera constituyen un bloque monolítico donde se transmitan automáticamente los cambios de un nivel a otro.

Otro de los críticos más vigorosos de las ideas de Kuhn ha sido Dudley Shapere, quien ha atacado en particular una idea también presente en la concepción de Laudan: el enfoque de niveles en filosofía de la ciencia. De acuerdo con Shapere, ese enfoque pretende, de manera equivocada que entender lo que es y lo que hace la ciencia debe ser independiente de los contenidos de cualquier creencia científica específica. Más aún, según este enfoque el análisis de la ciencia "tiene que ver con un 'nivel' de ideas, métodos, reglas, o lo que sea, que gobierna los procedimientos de la ciencia misma, y que en ese sentido está 'por encima' y es independiente del propio proceso científico". Contra esta idea, Shapere ha sostenido que todo aquello que gobierna el proceso científico está en el *mismo nivel* que los conocimientos científicos sustantivos, y tan sujeto a cambio y evolución como ellos. Así, preconcepciones, normas, valores, métodos, etcétera, ni son extracientíficos ni son invariantes. No existe ningún nivel privilegiado en la empresa científica.

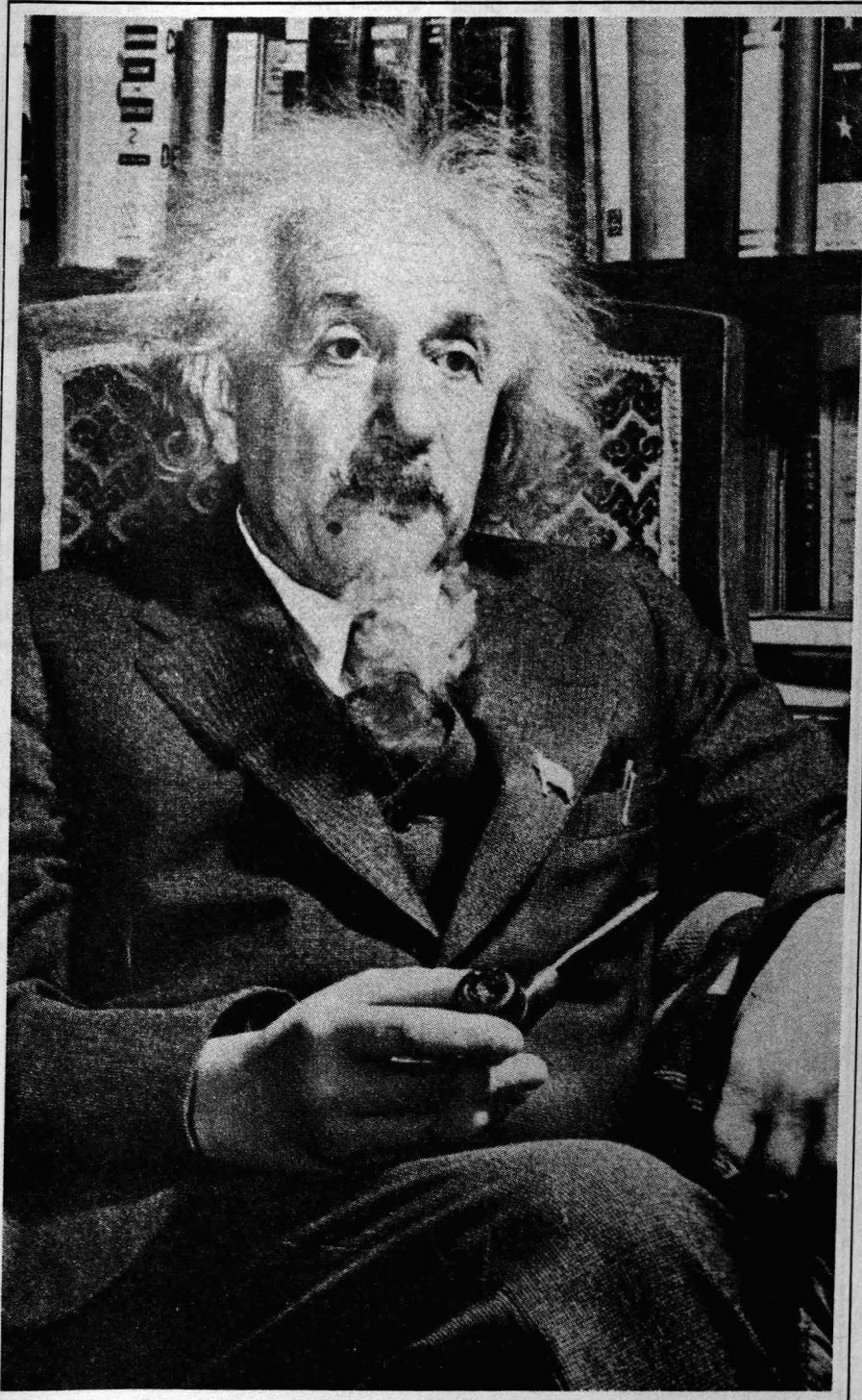
Shapere ha insistido en que el desarrollo científico, particularmente en las ciencias físicas de los últimos años, muestra una creciente *racionalidad*, así como un creciente proceso de *internalización*. Esto quiere decir fundamentalmente que el consenso que se logra está basado en *razones internas* al marco conceptual pertinente en la discusión científica. En otras palabras, las creencias en cuestión se aceptan porque se reconoce —con base

en criterios compartidos entre quienes participan en las controversias— que son exitosas, están libres de dudas específicas y son pertinentes para la materia en cuestión.

Un ejemplo: las interpretaciones de la mecánica cuántica

Los trabajos de Shapere han dado lugar a una corriente llamada “racionalismo científico”, que hace hincapié en el carácter revisable de todo tipo de principios, normas, valores, métodos, creen-

cias, etcétera, dentro de los entramados que determinan y constituyen el conocimiento científico. Sin embargo, este carácter revisable o falible de cada uno de esos aspectos no constituye una razón suficiente para dudar de ellos; sólo se deben poner en duda cuando existan *razones específicas* para dudar, que sean *internas al marco conceptual y derivadas de los resultados científicos*. Bajo esta concepción el conocimiento científico consiste en *creencias exitosas y libres de dudas específicas*, y por consiguiente es contingente y siempre revisable.



Albert Einstein

Una aplicación del racionalismo científico a un episodio muy importante de cambio conceptual en la ciencia contemporánea, es el análisis que recientemente ha desarrollado el filósofo Alberto Cordero sobre la controversia entre defensores de diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica. Esta controversia resulta fascinante, pues trata de las distintas maneras de entender una teoría que nos permitió el acceso a un mundo de ideas que han trastocado convicciones arraigadas durante milenios.

En 1935 Einstein publicó junto con B. Podolsky y N. Rosen un artículo que generó una amplia polémica. En él se argumentaba que la mecánica cuántica no podía considerarse como una teoría completa acerca del mundo. El carácter probabilístico de las descripciones de la mecánica cuántica se debía justamente a ese carácter incompleto de la teoría, pero de ahí no se podía desprender una concepción del mundo —como la defendida por la Escuela de Copenhague— que lo viera como indeterminado y como indeterminista; por el contrario, para Einstein el mundo físico *debería seguir siendo considerado como constituido por componentes completamente determinados y separables, y regido por leyes locales deterministas*. Aquí claramente están en juego ciertas expectativas y preconcepciones acerca del mundo y de la ciencia, presentes en el marco conceptual presupuesto por las teorías que Einstein había desarrollado.

Este marco incluía de manera fundamental dos principios:

1) El principio de localidad: el mundo está constituido por sistemas materiales regidos exclusivamente por interacciones locales; en particular, ningún efecto físico puede propagarse a una velocidad mayor que la de la luz.

2) El principio de separabilidad: en el experimento planteado por Einstein-Podolsky-Rosen, se parte de la consideración de la interacción entre dos protones previamente aislados; este principio plantea la independencia de cadenas causales a partir de cada uno de los protones, de manera que sea sostenible la creencia de que cada uno de los protones puede mantener su individualidad, es decir, que cada uno es separable, a nivel ontológico, con respecto al otro.

En 1966 John Bell publicó un artículo

lo, escrito dos años antes, en el que mostró que el análisis de Einstein-Podolsky-Rosen lleva a predicciones experimentales que difieren de las que hace la mecánica cuántica. En particular, aquél análisis predecía la existencia de un límite a la medida en la que pueden correlacionarse ciertos sucesos distantes, mientras que la mecánica cuántica predice que ese límite puede ser sobrepasado en ciertas circunstancias.

Los resultados de la mecánica cuántica —una teoría muy exitosa en cuanto a sus predicciones— chocan con aquellos dos principios que son presupuestos fundamentales de la visión de Einstein. De hecho son dos principios fundamentales requeridos respectivamente por dos teorías que él desarrolló y que hoy en día se encuentran bien establecidas: la relatividad especial y la relatividad general.

Los datos observacionales que se han obtenido en los últimos años por medio de experimentos llevados a cabo mediante técnicas crecientemente confiables apoyan los resultados de Bell, pero éstos son incompatibles con los principios de localidad y de separabilidad. Por consiguiente, al menos uno de estos dos principios debería rechazarse. Pero se trata de dos principios fundamentales de la visión einsteiniana del mundo físico, la cual se encuentra bastante bien establecida por razones independientes de las que apoyan los resultados de Bell. ¿Cómo superar esta confrontación conceptual? ¿Debería efectivamente rechazarse alguno de los dos principios fundamentales de la visión einsteiniana? En ese caso, ¿cómo elegir cuál desechar? ¿O acaso no sería mejor abandonar por completo esa visión? ¿Cabe esperar simplemente que esta incompatibilidad de visiones se resuelva mediante una “conversión” de los einsteinianos a la nueva visión, o que se disuelva cuando desaparezcan los defensores del marco einsteiniano? O bien, ¿puede existir una vía racional para dirimir esta controversia?

Los racionalistas científicos sostienen que existe una vía racional para lograr un acuerdo con base en razones específicas, internas al propio contexto científico, las cuales indicarían qué es lo que debe modificarse, y en qué sentido, aunque eso signifique de hecho un cambio de visión del mundo. Pero también esta concepción

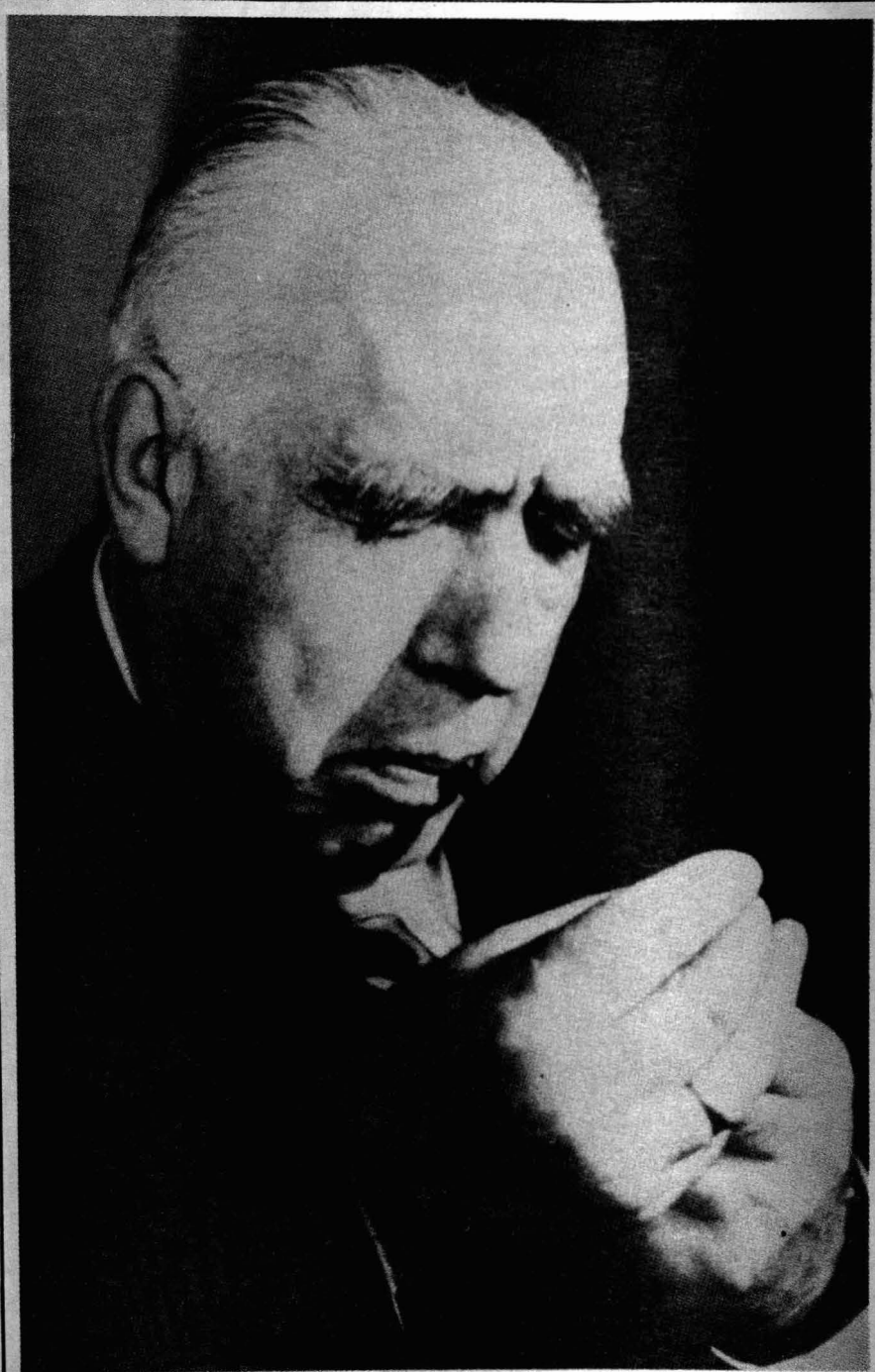
racionalista del cambio rechaza la idea de que éste pueda deberse a, y explicarse en términos de, un procedimiento susceptible de ser reconstruido por medio de algún algoritmo.

Cuestiones como las que hemos mencionado involucran una toma de posición frente a problemas filosóficos; sin embargo, éstos no pueden abordarse ni resolverse por medio de la especulación en abstracto: es necesario tomar en cuenta el conocimiento científico disponible, conocimiento que incluye a su vez presupuestos que forman parte del marco conceptual que constituye a la disciplina

científica en cuestión, como por ejemplo el principio de localidad y el de separabilidad.

El peso que pueden tener en los programas científicos algunas preconcepciones filosóficas puede apreciarse también en un par de artículos incluidos en este número.* En efecto, mientras que Tomás Brody plantea que la noción de “indeterminismo” no puede aplicarse directamente al mundo físico, sino que sólo tiene sentido predicarla de los modelos, de

* Agradecemos al Dr. Miguel José Yacamán, editor de este número, habernos facilitado dichos artículos previamente a la publicación.



Niels Bohr

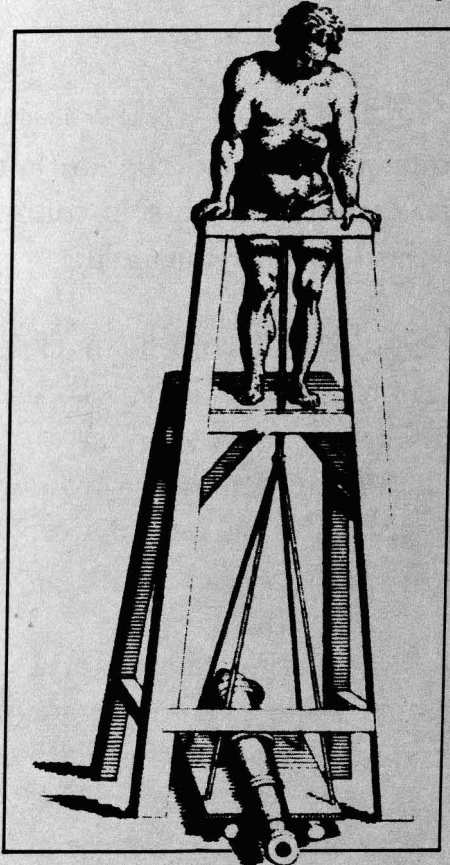
las interpretaciones que los científicos hacen del mundo para dar cuenta de los fenómenos, Luis de la Peña y Ana María Cetto defienden la idea de que el indeterminismo “no es esencial, innato del electrón”, y que una teoría como la de la *electrodinámica estocástica* puede ayudar a “construir una interpretación de la microfísica consiste con principios generales y fundamentales de las ciencias naturales, tales como los de realismo y objetividad”. Esta teoría, añaden, “muestra que existe la posibilidad en principio de encontrar explicaciones físicas al fenómeno cuántico sin necesidad de abandonar caros principios generales”.

Lo que nos importa destacar aquí es que efectivamente existen esos principios generales de carácter filosófico —que suelen ser muy apreciados por los científicos, aunque en muchas ocasiones no los reconozcan—, que esos principios orientan programas de investigación científica, y que ciertamente no son inmutables. Por ejemplo, el programa de De la Peña y Cetto claramente está orientado por los principios (filosóficos) que ellos llaman de “realismo y objetividad”, lo cual los lleva a defender el desarrollo de la *electrodinámica estocástica*. Brody claramente niega que el mundo físico pueda considerarse como determinista o indeterminista. Según él, no se trata de un problema acerca de cómo es el mundo, sino de cómo son nuestras concepciones (modelos) de ese mundo. Estas tomas de posición filosófica determinan programas de investigación científica, y forman parte de lo que Kuhn llamó paradigmas, y que aquí hemos llamado marcos conceptuales que constituyen el conocimiento científico. Pero justamente lo que Kuhn mostró es que “esos caros principios generales” de los científicos han variado a través de la historia, y muchos principios alguna vez apreciados han sido abandonados posteriormente.

Puede ser que Kuhn se haya equivocado al sostener que el cambio científico, el cambio de paradigmas, se parece a las revoluciones políticas o sociales. Ciertamente —como lo sugiere Cordero, siguiendo a Shapere— las controversias entre las posiciones de Einstein y Bohr, o entre los einsteinianos y los defensores de la no-localidad o de la no-separabilidad, son susceptibles de analizarse en tér-

minos de un marco compartido donde la controversia puede progresar racionalmente, es decir, donde cada parte puede ofrecer razones y evidencia que se desprendan de los trabajos científicos mismos, esto es, donde pueden brindar razones internas a la propia ciencia. Pero esto no significa que la controversia no presuponga y no gire en torno a ideas que son esencialmente filosóficas (como el determinismo o el indeterminismo, o el realismo y la objetividad).

Una de las grandes contribuciones de Kuhn a los análisis del cambio concep-



tual en las ciencias ha sido, pues, haber llamado la atención sobre los ejemplos paradigmáticos, los valores, las normas, los presupuestos metafísicos, epistemológicos y metodológicos que forman parte de los marcos conceptuales que condicionan lo que se hace en las ciencias, así como la interpretación de la experiencia, de las observaciones, y en general del mundo.

La propuesta de Kuhn para entender la forma en la que cambian los paradigmas científicos ya no resulta completamente aceptable. El cambio conceptual en las ciencias puede obedecer, después de todo, a razones internas de la ciencia en mayor medida de lo que Kuhn admitió en sus primeras obras filosóficas. El

carácter interno de las razones que conducen a modificaciones de los marcos conceptuales muestra que la ciencia no sólo nos enseña cómo es el mundo, sino que también nos enseña cómo pensar y aprender acerca del mundo. Pero aun cuando las razones que entran en juego para el cambio provengan de resultados de la ciencia misma, queda claro que el cambio conceptual en las ciencias involucra de manera fundamental concepciones filosóficas acerca del mundo y acerca del conocimiento científico. El matrimonio entre la ciencia y la filosofía es, pues, una relación necesaria y no de mera convivencia.

Cuáles sean las concepciones filosóficas que condicionan la investigación y el conocimiento científicos, y cuál su papel en el cambio de las visiones del mundo, es algo que debemos analizar y tratar de comprender. Esto es un fuerte desafío para la filosofía. Tomás Brody, con su muy fina sensibilidad filosófica, aunada a su excelente calidad como científico, tenía razón al afirmar con su habitual ironía: “Para los filósofos queda mucho trabajo por hacer todavía”. Nosotros sólo queremos agregar: felizmente. ♦

Referencias

- Bell, John, “On the problem of hidden variables in quantum mechanics”, en *Reviews of Modern Physics* 38, 1966.
- Cordero, Alberto, “Probability and the mystery of quantum mechanics”, en E. Agazzi (ed.) *Probability in the Sciences*, Kluwer Academic Publishers, 1988.
- Einstein, A., B. Podolsky y N. Rosen, “Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?”, en *Physical Review* 47, 1935.
- Kuhn, Thomas, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1962. Segunda edición 1970. Traducción al español, Fondo de Cultura Económica, México, 1971.
- Laudan, Larry, *Science and Values, The Aims of Science and Their Role in Scientific Debate*, University of California Press, 1984.
- Olivé, León, “Algunos problemas acerca de la objetividad y la racionalidad en ciencia según la concepción de Dudley Shapere”, en *Crítica* 54, 1986.
- Pérez Ransanz, Ana Rosa, “El proceso de internalización en el desarrollo científico”, en *Crítica* 54, 1986.
- Shapere, Dudley, *Reason and the Search for Knowledge*, Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 78, Reidel Publishing Company, 1984.
- , “Objectivity, rationality and scientific change”, en P. Kitcher y P. Asquith, *PSA* 84, vol. II, 1986.
- , “Method in the philosophy of science: how to inquire about inquiry and knowledge”, en N. Nersessian (ed.), *The Process of Science*, Nijhoff, 1987.

Singularidad

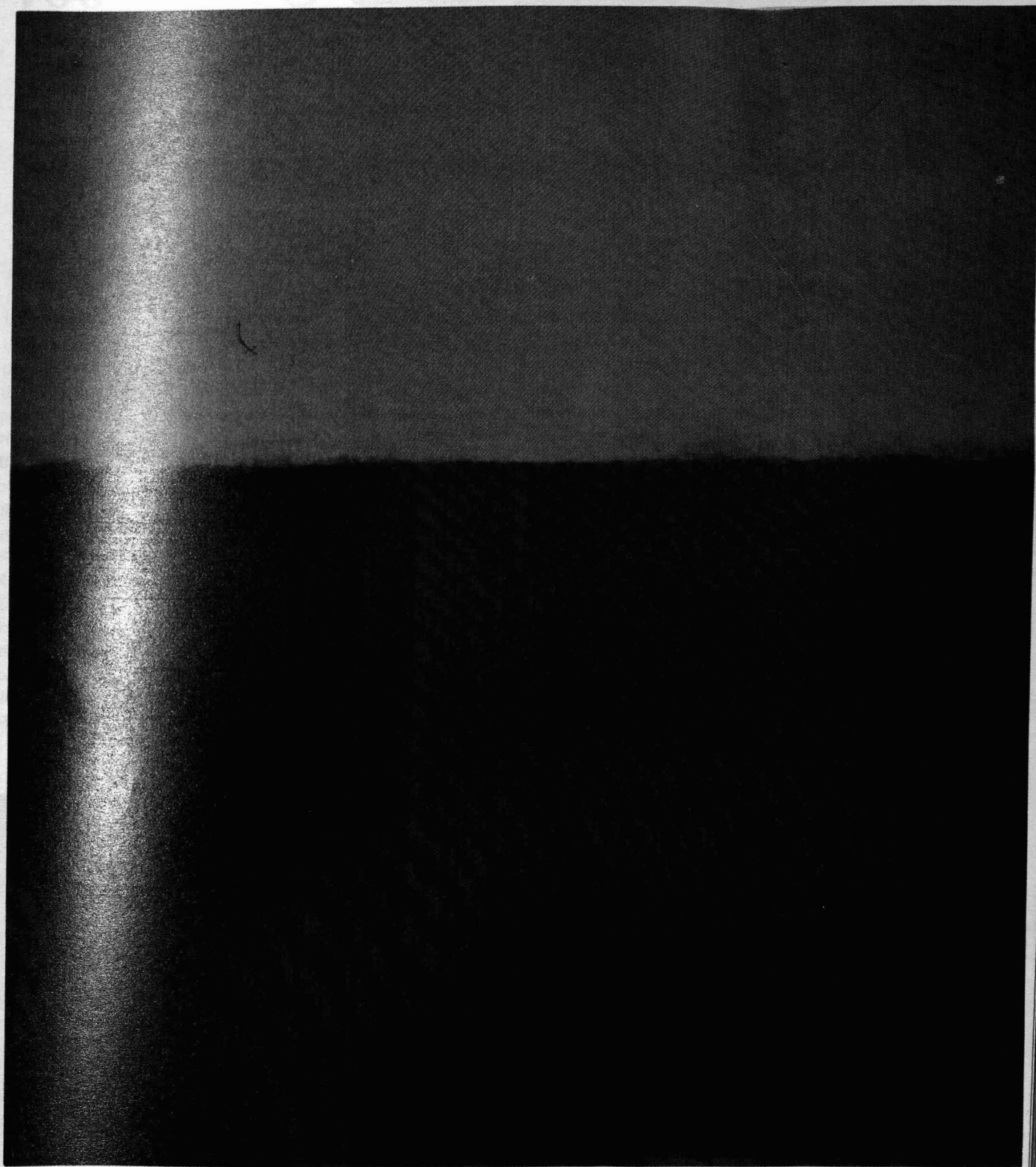
Alberto Blanco

para Mark Rothko

Se dice que existe una singularidad cuando la trayectoria de un rayo de luz que viaja a través del espacio conocido y el tiempo, llega a su final y no puede seguir más allá.

Al terminar este camino, el viajero imaginario desaparece y se sale del espacio y el tiempo hacia una nueva especie de realidad. De hecho ¿qué puede resultarnos más singular que un viajero mental abandonado a la orilla del universo si la frontera misma no forma parte ya de lo reconocible? Ni un lado del espejo ni otro. Ni crecimiento ni presión.

Lo curioso es que se ha escogido esta historia para decir que nuestro universo posee una de esas orillas singulares en el pasado, un agujero —si queremos verlo de este modo un punto antes del cual no había nada. . . no había tiempo. Una vacuidad en lo inmediato, ya que el camino desaparece de golpe al tocar semejante enigma en el mapa del cosmos. Un viajero valiente puede regresar por uno de estos hoyos sin salida, uno de estos extraños callejones universales, hasta dar con los límites de la singularidad. Al instante terminaría el mundo con esa descripción que le da cuerpo. Y no habiendo ya expectativas al filo del modelo estelar, como corolario tentativo de la red de ecuaciones, se dice que igualmente podrían aparecer planetas de la pura nada, estrellas y galaxias en los límites de esta singularidad. ♦



Mark Rothko. Sin título, 1953

Materia oscura o...

¿De qué está hecho el Universo?

Arcadio Poveda*

Oscuro: que carece de luz o claridad... Confuso, falto de claridad, poco inteligible. *Diccionario de la Real Academia Española*, décimonovena edición.

La pregunta anterior ha sido preocupación permanente de filósofos, pensadores y científicos, desde la remota antigüedad hasta nuestros días. En forma recurrente y cuando parecía estar a la vista la respuesta, ha ocurrido que algún nuevo descubrimiento, o alguna nueva interpretación de los datos conocidos ha alejado de nosotros la solución al misterio. Desde los atomistas de la Grecia clásica hasta los investigadores contemporáneos, con sus grandes telescopios, aceleradores, satélites, y sus hermosos esquemas teóricos, la búsqueda ha sido fascinante, pero aún no sabemos la respuesta.

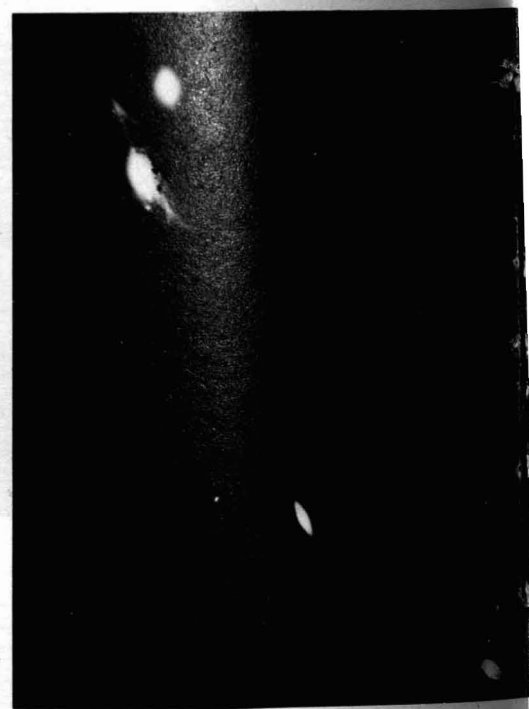
Conocemos muy bien los átomos y las partículas fundamentales que los componen: los protones, neutrones y electrones, así como una enorme variedad de elusivas partículas elementales. Los cuerpos que nos son familiares están compuestos de estas partículas; el aire, el agua, nuestros cuerpos, la Tierra, el Sol y las estrellas los entendemos más o menos en función de las partículas básicas arriba mencionadas. Pero... desde hace poco más de 50 años los astrónomos empezaron a encontrar indicios de que en el Universo existen grandes cantidades de materia no luminosa, cuya naturaleza o identidad aún no logramos entender: esta materia invisible, o materia oscura como la llamaremos, que puede estar compuesta de partículas desconocidas,

aún no observadas en los laboratorios terrestres, constituye entre el 90 y el 99% de la masa o materia del Universo. En pocas palabras, la mayor parte de la masa o materia que compone el Universo no sabemos qué sea. En este artículo vamos a examinar la historia de este tema intrigante, así como algunos de los casos más notorios de su presencia en diferentes ámbitos del Universo.

El primer caso de materia oscura que se presenta en la historia de la ciencia tiene que ver con el descubrimiento del planeta Neptuno, a mediados del siglo pasado. Después del descubrimiento casual del planeta Urano por William Herschell en 1781, los astrónomos se percataron de que, con anterioridad, este planeta había sido observado por otros astrónomos, pero sin reconocerlo como planeta; sin embargo, como estrella su posición sí había sido registrada con precisión. Haciendo uso de estas observaciones, así como de las posiciones observadas por Herschell y sus contemporáneos, resultaba fácil para los astrónomos de entonces predecir las posiciones futuras de Urano, esto es, calcular sus efemérides. Con el paso del tiempo, la sorpresa de los astrónomos crecía, pues las posiciones predichas, con la ayuda de la ya muy confiable mecánica celeste, se desviaban más y más de las posiciones observadas, hasta alcanzar valores intolerables.

En forma independiente dos astrónomos, contemporáneos entre sí, abordan el problema. John Couch Adams en Cambridge, Inglaterra, y Urbain Jean Joseph Leverrier, en París, se plantean la hipótesis de que el movimiento anómalo de Urano es el resultado de perturbaciones gravitacionales producidas por un objeto desconocido, muy

probablemente otro planeta de gran masa. El complicado y laborioso análisis matemático del problema condujo a la predicción de las características orbitales del hipotético planeta, así como de su masa y brillo; ambos astrónomos promueven, en forma independiente, el que los observadores de la época buscaran al nuevo planeta en regiones restringidas del cielo predichas por la teoría. Adams enlistó el apoyo del astrónomo real de Inglaterra y de Challis del Observatorio de Cambridge, mientras que Leverrier, al no conseguir mucho apoyo entre los observadores del Observatorio de París, le escribe al astrónomo Johann Gottfried Galle, asistente del director del Observatorio de Berlín, indicándole: "Dirija su telescopio a un punto en la eclíptica en la Constelación de Acuario, a 326° de longitud y encontrará dentro de un grado de ese punto el nuevo



Cúmulo de galaxias en la constelación de la Virgen (Foto

* Instituto de Astronomía, UNAM. Miembro de El Colegio Nacional.

planeta, que tendrá la apariencia de una estrella de la novena magnitud pero con un disco perceptible . . ."

La noche del 23 de septiembre de 1846, y apenas a media hora de haber iniciado la búsqueda, el astrónomo Galle encuentra el nuevo planeta ya menos de un grado (a 52') del punto que Leverrier había indicado!

El éxito de los astrónomos berlineses en encontrar el nuevo planeta, Neptuno, se debió en buena medida a la disponibilidad en el Observatorio de Berlín de una moderna carta celeste, en la cual resultó relativamente fácil reconocer al "intruso" en el campo de observación. Por otra parte, los astrónomos de Cambridge escogieron el camino más lento al hacer su propia carta celeste de la región y comparar las posiciones de todas las estrellas en dos épocas distintas: al planeta se le reconocería por su movimiento relativo. De hecho, Neptuno ya había sido observado por Challis y registrado en su carta celeste, pero aún no había sido medido su movimiento y por lo tanto tampoco reconocido como planeta.

El descubrimiento de Neptuno es un buen ejemplo de la detección y cuantificación de materia desconocida, por sus efectos gravitatorios sobre objetos observables: al haber observado a Neptuno, a través del telescopio, dejó de ser materia oscura o desconocida, pues se le reconoció

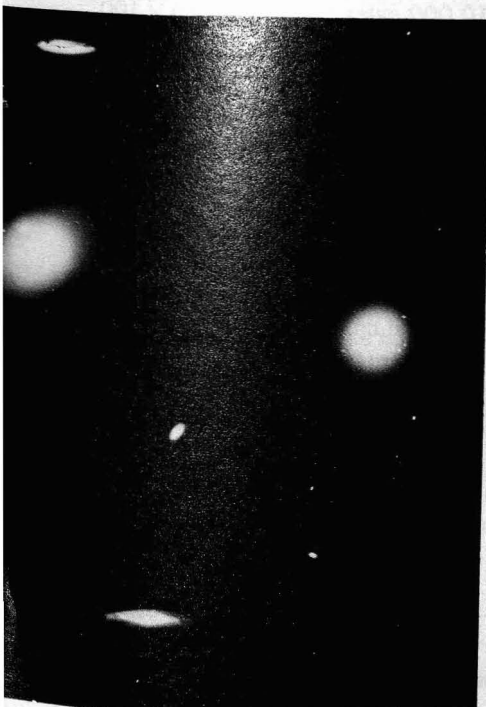
como uno más de nuestros planetas compuesto de materia ordinaria. El descubrimiento del siguiente planeta, Plutón, sigue un patrón semejante, pues de nueva cuenta Urano continuó exhibiendo perturbaciones, menores, que no eran explicables por la masa de Neptuno hasta que, en 1929, Clyde

Tombaugh observa a Plutón siguiendo las predicciones teóricas de Percival Lowell sobre su localización.

El siguiente paso en el estudio de la materia oscura lo encontramos al observar los movimientos de las estrellas vecinas. Con frecuencia ocurre que al estudiar cuidadosamente



El planeta Júpiter podría ser un ejemplo de la materia oscura en el Universo



Observatorio de Kitt Peak)



La galaxia de Andrómeda, primera galaxia espiral donde se encontró un gran halo masivo de materia oscura

el desplazamiento de las estrellas en la bóveda celeste encontramos que éste no es una línea recta, sino que más bien resulta una línea ondulada. El astrónomo alemán W. Bessel fue el primero que se enfrentó con este problema al tratar de interpretar el movimiento de Sirio. Bessel dedujo correctamente, en 1850, que Sirio debía tener una compañera oscura, cuyo brillo sería muy débil, razón por la cual había escapado a la observación. Algunos años después, en 1862, Alvan Clark, al probar un nuevo tipo de óptica astronómica, descubre la compañera de Sirio como una estrella unas diez mil veces más débil. Estudios posteriores del movimiento relativo de este par revelaron que la compañera tiene una masa apenas un poco menor que Sirio, de tal suerte que su poco brillo implicaba un radio muy pequeño y por lo tanto una densidad grandísima: en efecto, la densidad de la materia de la compañera de Sirio es de unas 10 000 veces la densidad del agua.

El descubrimiento de la compañera de Sirio planteó un problema fascinante: ¿de qué está hecha esta estrella? La ciencia no conocía entonces de ninguna materia o sustancia con una densidad tan grande. El misterio se resuelve años después, cuando el concepto de degeneración de la materia queda establecido. Las estrellas de masas semejantes a la del Sol, hacia el final de sus vidas, se contraen enormemente y aunque no generan ya energía termonuclear, pueden mantener un equilibrio contra la gravedad, que tiende a contraerlas hacia un radio cero, gracias a la presión de los electrones degenerados. Muchas estrellas como la compañera de Sirio han sido descubiertas y catalogadas, algunas con densidades aun mucho mayores que las de la compañera de Sirio (un millón de veces la del agua); a esta clase de estrellas, por su tamaño y sus colores (temperaturas) se les conoce como enanas blancas. A pesar de su gran densidad, están compuestas con los mismos átomos que conocemos en la Tierra: helio, carbono, oxígeno, hierro, etcétera.

El proceso evolutivo de las estrellas también puede producir cadáveres estelares aún más extraños: objetos más compactos que las enanas blancas, como son las estrellas neutrón y los hoyos negros. Una estrella

neutrón, como su nombre lo indica, está compuesta principalmente por estas partículas elementales y resulta de la muerte violenta de una estrella más masiva que 1.4 veces la masa del Sol. Al morir, estas estrellas producen una explosión gigantesca, conocida como Supernova. También como resultado de la muerte violenta de una estrella, se puede producir el más exótico de los objetos conocidos: el hoyo negro, donde el colapso de la materia es total y por lo tanto la fuerza de la gravedad es tan intensa, que ni la luz puede escapar de él; de ahí tan intimidante nombre.

Las enanas blancas, las estrellas neutrón y los hoyos negros son estados exóticos de la materia conocida en nuestros laboratorios; las condiciones extremas que se requieren para que la materia cambie a estos estados, son inalcanzables en la Tierra. En el Universo, sin embargo, pueden darse con frecuencia las condiciones apropiadas para crear estos objetos; es parte de nuestra tarea, aún en proceso, el establecer precisamente qué fracción de la materia del Universo se encuentra en esos estados.

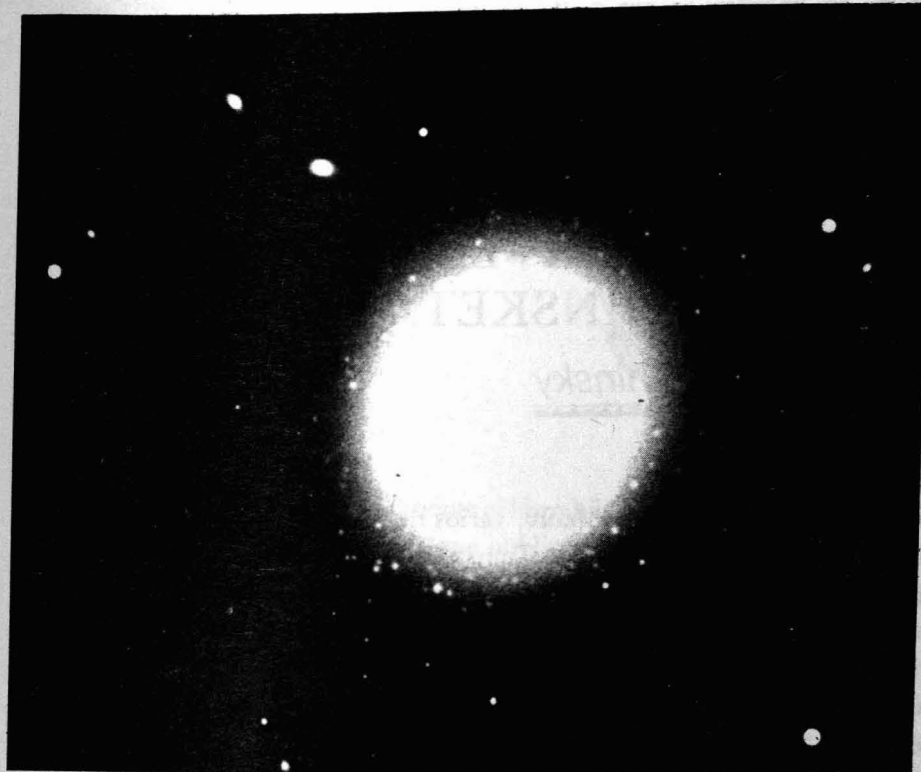
Los planetas, las enanas blancas, las estrellas neutrón y los hoyos negros son formas de la materia conocida que emiten muy poca o ninguna luz y, por lo tanto, su detección óptica resulta muy difícil o imposible; sabemos de su existencia por los efectos gravitatorios que ejercen sobre otros objetos que sí podemos observar y que se encuentran en su cercanía.

En 1932, el astrónomo holandés Jan Oort, al estudiar los movimientos de las estrellas en la cercanía del Sol (más precisamente sus oscilaciones a través del plano principal de nuestra galaxia), se percató de que las magnitudes de sus velocidades combinadas con la altura que alcanzaban sobre el plano de la galaxia, indicaban que la cantidad de materia en la cercanía del Sol es mayor que la que podemos observar en forma de estrellas. El método de Oort para determinar la densidad de materia en la vecindad solar es básicamente muy sencillo: podemos imaginar que las estrellas sean como pelotas de tenis en las manos de uno de esos equilibristas de circo que mantienen simultáneamente varias pelotas al aire. Cuando capturan una pelota la avientan en seguida hacia arriba con una velocidad constante; el mismo

equilibrista jugando en la Luna, donde la gravedad es menor, con el mismo impulso arrojaría las pelotas mucho más alto, de tal suerte que para una velocidad dada, la altura que se alcanza es tanto mayor cuanto menor sea la fuerza de gravedad; por otra parte, la fuerza de la gravedad depende de la cantidad de materia que esté atrayendo a las pelotas: a mayor masa (la Tierra) mayor es la atracción gravitatoria. Sustituyendo las pelotas por estrellas y la superficie de la Tierra por el plano de la galaxia, vemos cómo, en principio, se puede determinar la masa que hay en el plano de la galaxia. El método de Oort ha sido aplicado varias veces desde entonces, con mejores datos y con tratamientos teóricos más refinados, y continúa arrojando valores de la densidad de aproximadamente el doble de la densidad conocida en forma de estrellas (incluyendo enanas blancas), polvo y gas. Parece ser que en la cercanía del Sol (el Sol está ubicado prácticamente en el plano de la galaxia) existe materia oscura, no identificada, en una cantidad igual a la materia conocida.

El siguiente paso en el desarrollo de este problema se lo debemos al astrónomo suizo Fritz Zwicky, quien en 1933, al estudiar los movimientos de las galaxias en el cúmulo de galaxias situado en la Constelación de La Cabellera de Berenice, encuentra que la masa de todo este enorme agregado de materia (formado por alrededor de 10 000 galaxias) es entre 10 y 100 veces mayor que la suma de las masas de todas las galaxias que contiene; en otras palabras, solamente entre el 1% y el 10% de la masa de este enjambre se encuentra en una forma que nos es conocida; el resto, aún en nuestros días, continúa siendo un misterio.

Después de estos dos descubrimientos fundamentales (el de Oort y el de Zwicky) pasó mucho tiempo antes de que se descubriera la existencia, en forma convincente, de materia oscura en otros sitios del Universo: así, no es sino hasta 1961 que el presente autor encuentra una extraña relación entre la eficiencia luminosa M/L de los diferentes sistemas estelares y su masa, en el sentido de que los sistemas más pequeños, por ejemplo los cúmulos globulares de estrellas, tienen una eficiencia M/L del orden de la unidad



M87, una galaxia esferoidal gigante (Foto: Observatorio de Kitt Peak).

(tomando como unidad de masa y de luminosidad la del Sol), mientras que los sistemas mayores y de mayor masa muestran eficiencias luminosas M/L del orden de varios cientos, lo cual indicaba claramente que la cantidad de materia oscura varía de sistema a sistema en una forma que depende de la masa y su extensión.

El siguiente paso en este misterio fue el descubrimiento de que las galaxias espirales (sistemas estelares similares al nuestro, i.e. a la Vía Láctea) tienen enormes halos de materia invisible que deja sentir sus efectos en los movimientos del gas, las estrellas y los cúmulos de estrellas inmersos en ellas. Morton S. Roberts, pionero en estos estudios, descubrió que en la Galaxia de Andrómeda, (ver figura 1) la velocidad de rotación del gas alrededor del centro permanecía constante hasta las mayores distancias (de su centro) a las que se podían realizar las observaciones; esto indicaba la presencia de grandes cantidades de materia. Para ilustrar este punto veamos lo que pasa en el sistema planetario. Fuera del Sol prácticamente no hay materia, lo cual hace que los planetas, al girar alrededor del Sol, lo hagan con velocidades decrecientes con la distancia (tercera ley de Kepler). Júpiter, por ejemplo, gira alrededor del Sol con una velocidad menor que la

mitad de la velocidad de la Tierra alrededor del Sol. La materia que hay que poner para mantener constante la velocidad de rotación en Andrómeda no tiene contraparte en la cantidad de luz observada. Más aún, a mayor distancia del centro de esta galaxia, mayor es el cociente M/L y, por lo tanto, mayor es la proporción de materia oscura.

Estudios posteriores de muchas otras galaxias espirales, particularmente los realizados por Vera Rubin y colaboradores, han mostrado que este fenómeno, la constancia de la velocidad de rotación y por lo tanto la existencia de materia oscura, está presente en la gran mayoría de las galaxias estudiadas, incluyendo la nuestra. Galaxias de otros tipos, así como grupos y cúmulos de galaxias, también contienen grandes cantidades de materia oscura. Finalmente, la cosmología moderna, en su afán por explicar ciertos fenómenos, como la isotropía de la radiación residual de la Gran Explosión, requiere una densidad promedio en el Universo entre diez y cien veces mayor que la que se puede explicar por la componente luminosa de las galaxias. Resumiendo, podemos entonces decir que en las galaxias, en los cúmulos de galaxias, y probablemente en el Universo en su conjunto, la mayor parte de la materia (entre el 90 y el 99%) es oscura y no

sabemos de qué está compuesta.

Mucho se ha especulado sobre la naturaleza de la materia oscura. Obviamente se puede clasificar las principales posibilidades en dos grandes grupos: a) materia conocida, y b) materia desconocida. La materia conocida, a su vez, puede ser de dos tipos: partículas pesada (bariones) como los protones y neutrones y partículas ligeras como los neutrinos. Las partículas pesadas podrían estar atrapadas en objetos no luminosos como los que examinamos al principio de este artículo, esto es, planetas o estrelluelas (oscuros, por no tener la masa suficiente para activar las reacciones termonucleares), enanas blancas, estrellas neutrón y hoyos negros. La posibilidad de que toda la materia oscura del Universo esté compuesta de protones y neutrones ha sido cuestionada, pues en este caso los modelos simples de la formación de los elementos ligeros en la Gran Explosión darían abundancias diferentes a las observadas; también hay dificultades con la isotropía de la radiación residual. Por otra parte, un Universo dominado por neutrinos no podría explicar los halos masivos de las galaxias, pues estas partículas se moverían con una velocidad mayor que la velocidad de escape; en otras palabras, se escaparían de las galaxias.

Los físicos, preocupados por unificar las fuerzas de la naturaleza, la gravitación, la fuerza electromagnética, las interacciones débiles y las fuerzas nucleares, han encontrado que la tan ansiada unificación se puede dar en los primeros momentos de la expansión del Universo y que un sub-producto de esta fase del Universo sería la producción copiosa de numerosas partículas, algunas de las cuales podrían tener las propiedades necesarias para explicar la materia oscura.

En la actualidad, ninguna de estas partículas exóticas ha sido observada y en verdad sus hipotéticas propiedades son bastante inciertas y arbitrarias, de tal suerte que la pregunta con la que iniciamos este artículo aún no encuentra respuesta, pero sí nos lleva a la intrigante reflexión de que la búsqueda del conocimiento sobre la estructura y composición del Universo en su conjunto nos lleva al estudio del microcosmos en los primeros instantes del nacimiento del Universo. ♦

DOS RETRATOS DE Tomás Brody

EN EL TRIGÉSIMO ANIVERSARIO DE LOS BRASHINSKETS

Marcos Moshinsky

En este número de la revista *Universidad de México*, varios de los artículos están dedicados a la memoria del ingeniero y físico Tomás Brody, que falleció en noviembre de 1988, víctima de un vulgar asalto, como los que ocurren por centenares cada día en nuestra capital. En esa época (*Excelsior*, diciembre 3, 1988, p. 7A) escribí un artículo intitulado "Tomás Brody, biografía del pensamiento" en el que relaté mis reminiscencias sobre ese hombre y científico de excepción.

No quisiera repetir lo que ya he expresado, sino aprovechar estas líneas para comentar un trabajo que realicé con Tomás hace 30 años y del cual se desprende una lección de relevancia en lo que concierne a la aplicación de la ciencia.

En la década de los cincuenta mis intereses principales se centraban en problemas de estructura nuclear. Las técnicas en esos cálculos se habían copiado de las que un cuarto de siglo antes se desarrollaron para el análisis de estructura atómica, con la diferencia de que las funciones de onda, en lugar de estar asociadas con el potencial electrostático de Coulomb, estaban relacionados con el de oscilador armónico. Al meditar sobre el problema noté que en el caso de oscilador se sugería la introducción de un concepto, que denoté con el nombre de paréntesis de transformación, que permitía simplificar de raíz los cálculos en la estructura nuclear. Después de algunos meses de trabajo pude obtener una expresión algebraica explícita para estos paréntesis de transformación y publiqué un artículo al respecto indicando también su utilidad en la simplificación radical de los cálculos (*Nuclear Physics*, Vol. 13, 1959, p. 67).

Fue en ese momento en que resultó fundamental mi contacto con Tomás Brody, quien desde hacía algunos años trabajaba en el Instituto de Física en el campo de la física nuclear experimental. La mente inquieta de Tomás no gustaba de los problemas resueltos sino de aquéllos que presentaban un reto a su imaginación. Por ello cuando la UNAM adquirió, al final de la década de los cincuenta, su primera computadora electrónica, una IBM 650, sus intereses se desplazaron hacia las entonces novedosas técnicas que el uso de la máquina requería.

Discutí, pues, con Tomás en 1959 mi concepto de paréntesis de transformación, indicándole que su utilidad se incrementaría enormemente si hubiera un libro de tablas numéricas para estos coeficientes, con una discusión de cómo emplearlos en los cálculos de estructura de los núcleos atómicos.

De inmediato Tomás se interesó en la idea y empezó la labor de cómputo que le tomó varios meses de intenso trabajo, frecuentemente durante la noche, en que no se ocupaba la máquina para otros menesteres. De estas tablas, y de la introducción las mismas en que se indicaba la forma de utilizar-



las, salió finalmente el libro bilingüe (español e inglés) sobre *Tablas de paréntesis de transformación* que publicó inicialmente la UNAM en 1960 y luego reeditó Gordon & Breach, New York, en 1967.

Tomás, con su particular sentido del humor, fue quien bautizó a estos paréntesis de transformación como *brashinskets* de la palabra correspondiente (bracket) en inglés y metiendo parte de mi nombre. Así es como se conocen coloquialmente en muchas instituciones, aunque más correctamente deberían de llamarse *Broshinskets*, para contener parte del nombre de quien invirtió tanto esfuerzo en su cálculo.

Los *brashinskets* se han vuelto un concepto indispensable en los cálculos de estructura nuclear, así como en otros campos de la física, pero esta aplicación no hubiera ocurrido de sólo haberse contado con la expresión algebraica del concepto. La elaboración de las tablas fue esencial para que el uso se generalizara, dando lugar a centenares de citas. Más aún, se ha llegado a la situación en que las citas al libro de tablas no son necesarias, ya que los programas de los *brashinskets* están en muchos casos incorporados a los que se requieren en el cálculo de la estructura de los núcleos.

La lección que se extrae de este relato es que la aplicación de los resultados de la investigación requiere de la cooperación de muchas personas. En mi caso fue la de alguien que a la vez que comprendía las técnicas de la física nuclear teórica, también conocía las que se requerían en computación. En otros, la cooperación requerida se extiende a muchos campos, incluyendo los ingenieriles, administrativos y financieros.

De lo anterior están muy conscientes los países avanzados donde existe la infraestructura adecuada para aprovechar los resultados de la investigación. Deberíamos tener presente esta situación cuando nos preguntamos por qué no se aplica la mayor parte de la investigación que se desarrolla en el país. En parte porque es investigación que denominamos pura, pero en parte también por lo raquítico de la infraestructura disponible para sacarle provecho a los conocimientos adquiridos.

Para volver a Tomás Brody, este año se cumple el trigésimo aniversario de la elaboración de las tablas mencionadas. Hubiera querido invitar a Tomás y a su esposa Olga Pellicer de Brody para celebrar el hecho. Desgraciadamente el destino no lo permitió, pero quisiera aprovechar esta nota para mencionar el brindis que me gustaría haber pronunciado: "Tomás, hace treinta años tuvimos la oportunidad de colaborar en un trabajo que cambió los procedimientos de investigación en el campo de la estructura nuclear y por ello hoy te quisiera decir: gracias, muchas gracias." ♦

La física es una ciencia viva

Entrevista con Silvia Ruiz-Vázquez

En junio del año pasado, el doctor Tomás Alejandro Brody fue nombrado investigador emérito de la UNAM. Con ese motivo, la revista *Universidad de México* realizó la que tal vez sea la última entrevista que concediera.

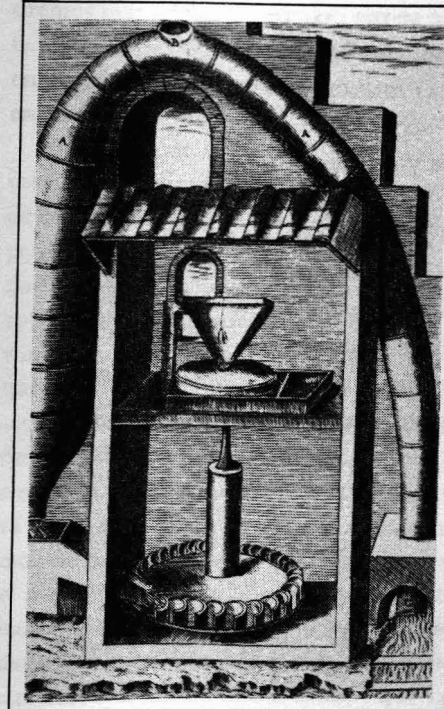
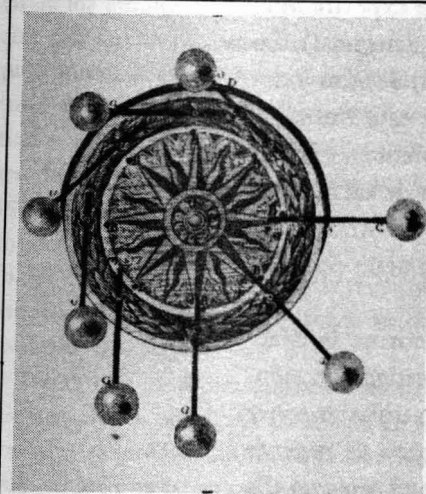
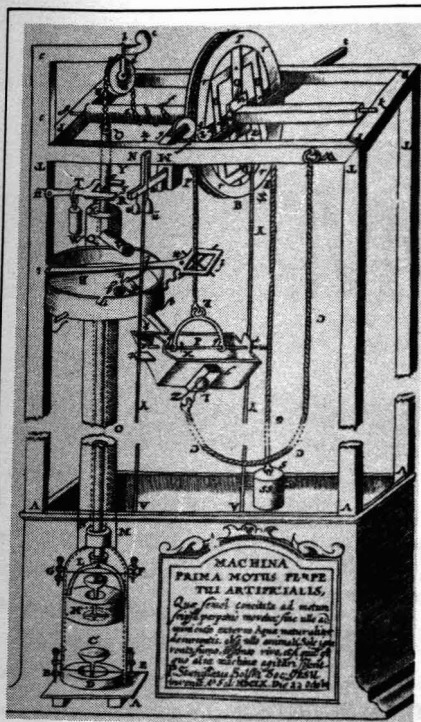
Brody nació en Alemania en 1922 y llegó a México en 1953, en los inicios de la física nuclear en nuestro país. Su andar dejó huellas en generaciones de físicos formados por él durante treinta años como profesor en la Facultad de Ciencias, en los cuales impartió alrededor de once materias: Física experimental para teóricos, Introducción a la física moderna, Cálculo de observaciones, Programación avanzada, entre otras. Apoyó a varios de sus alumnos en la dirección de sus tesis, tanto de licenciatura como de doctorado. Publicó dos libros de enseñanza: *Teoría de grupos en la física* y *Tratamiento de los errores experimentales*. En preparación dejó uno en inglés: *Programming Techniques in Physics*. Dio más de cien conferencias en varios países, aportó alrededor de setenta artículos a la literatura científica y dejó por publicar: *Ergodic Properties of Chebyshev Polynomials* (con J.L. Jiménez), *Problems and Promises of the Ensemble Interpretation of Quantum Mechanics*, y *Einstein y la mecánica cuántica*.

“La entrevista siempre es un poco superficial, lo que sería interesante es presionar al lado científico que vuelva a escribir para la revista”, nos dijo. A un año de aquella conversación se abren las puertas a la expresión científica. Ahora es imposible contar con alguna colaboración del doctor Brody escrita específicamente para la revista, pero no por ello prescindimos de su presencia. A continuación, transcribimos únicamente sus respuestas.

Yo quería quedarme un tiempo en México, me gustó mucho. Me puse en contacto con la Coordinación de Ciencias. El proyecto por cumplir era sacar los resultados de un acelerador de partículas que estaba por instalarse, por medio de la utilización de emulsiones fotográficas, actividad que era desconocida en México y sobre la cual yo había presentado mi tesis en la Universidad de Bolonia, Italia. Estos fueron mis inicios en esta ciudad y el pretexto de mi estancia. Me casé con una mexicana, tengo hijos mexicanos y toda una descendencia. También puedo decir: tengo bisnietos académicos.

El tamaño de la Universidad de México es notablemente mayor que el de casi cualquier universidad, por lo menos en las que yo he estado, esto hace una diferencia tanto positiva como negativa. Negativa porque la Universidad ha crecido sin jamás comprender que esto requiere profunda reestructuración para que siga funcionando adecuadamente. Una universidad de un cuarto de millón de estudiantes, que usa los métodos apropiados para digamos, tres mil estudiantes, que es lo que estamos haciendo, no puede dar buen resultado.

Por otro lado tampoco podemos limitar el ingreso de estudiantes. Tenemos la capacidad pero los medios son escasos e inadecuados, falta organiza-



ción. En los últimos quince años la Universidad ha caído en garras de la burocracia, de la centralización y sobre todo en la uniformidad. Todo se quiere hacer por igual; no se puede formar a médicos de la misma manera como se forman pintores o físicos o filósofos. Pensar así es un total absurdo, y mientras sigamos con esa filosofía básica estamos destinados al fracaso. Cuando logremos eliminar estas tres barreras fundamentales, podremos pensar seriamente que hemos dado el primer paso hacia la reestructuración de la Universidad.

México necesita desarrollarse más en el campo de la ciencia y la tecnología. No hay ni remotamente el número de plazas disponibles para la gente con formación científica o técnica que correspondería a las necesidades del país. En caso de que existieran, tampoco tendríamos el número suficiente de profesionales para soportar esta oferta. Es un alivio saber que hay varias escuelas preparando a este tipo de personas en una forma adecuada. Producimos un número demasiado grande de gente entrenada y formada a medias, que ha aprendido a repetir de memoria pero que no ha comprendido y por lo tanto no están en posición de crear, y eso es lo que necesitamos.

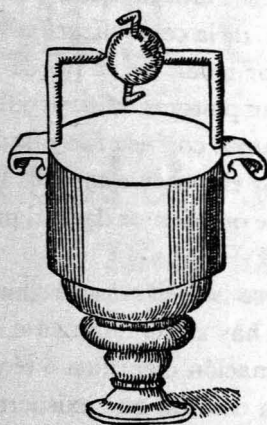
Como físico estoy muy viejo, la física es una disciplina que necesita una buena dosis de creatividad, sobre todo de capacidad, de romper barreras y de demoler ideas viejas. En la lista de los premios Nobel aparecen las edades de los distinguidos con este galardón, que se encuentran entre los 20 y 30 años; la excepción lo realizó a la edad de 50 años y yo tengo 68; en este sentido estoy viejo. No es lo mismo para los escritores. Ahora, y de acuerdo con mi experiencia como físico, me dedico a la filosofía de la física.

En la medida en que la física es una ciencia, es un algo vivo que se desarrolla, crece y cambia: no se puede definir. Parto aquí de la problemática de la mecánica cuántica, o por lo menos eso es lo que me ha llevado principalmente a este camino. Es la última de nuestras teorías fundamentales y aunque ya tiene sesenta años es la más problemática. Es la base de la mayor parte de la física que se hace actualmente y sin embargo está llena de preguntas. En muchos puntos de la mecánica cuántica seguimos recetas que sabemos que nos jalen, sin entender por qué. Se ha creado una especie de mitología sin adentrarnos al verdadero razonamiento. Esto ha contribuido a que en la física hayan cundido una serie de tendencias indeseables.

La mecánica cuántica tiene un lado de comportamiento que son partículas y otro lado que se comporta como ondas. No puede haber un objeto real que en parte es partícula y en parte es onda, eso no tiene sentido. Entonces, ¿qué se elucubra alrededor? Hay gente que dice que estos conceptos clásicos de partícula y onda son demasiado estrechos y tenemos que inventar nuevos que permitan abarcar ambos referentes. Generalmente esta clase de conceptos no va mucho más allá del nombre y la gente nos habla de ondícula, o cosas por el estilo; pero una ondícula es parte onda y parte partícula, o sea lo mismo; un nombre por pegarle una etiqueta al vacío, no es una aportación a la ciencia.

Hay una tendencia a afirmar que se está demostrando que es un concepto viejo y tradicional de un mundo real, el cual nosotros estamos tratando de explorar y se revela como demasiado limitado. No es cierto, sólo hay una realidad en un sentido mucho más transparente o sofisticado. Hay gente que lo plantea como la demostración de que este mundo real no existe y sólo es un pigmento de la imaginación, usted es un pigmento de mi imaginación, y yo soy un pigmento de la suya, pero ¿dónde están estas dos imaginaciones?

Los niños siempre tienen curiosidad. Cuando se plantean que su sueño es la realidad y la realidad es su sueño es una pregunta que se hacen para



integrarse y descubrir su entorno. Pero los mayores, al no saber contestar les decimos: “no seas tonto”, en lugar de formularnos una filosofía. Nunca he escrito para niños. Me inicié con muchachos de preparatoria y secundaria; cuando me di cuenta de la necesidad de comunicarme con los niños yo era demasiado viejo para lograr darme.

La idea de un proyecto de física computacional sería doble: en primer lugar trabajar en el desarrollo de una técnica que uniera la física experimental y la teórica (esto se hace actualmente pero de una forma muy artesanal). En segundo lugar crear oportunidades para que nuestros físicos aprendan y dominen estas nuevas técnicas y sean ellos los que desarrollen este trabajo.

La computadora es una herramienta que existe en un ambiente social. Si pensamos y organizamos antes de utilizarla, lo podemos hacer de tal manera que traiga beneficios. De lo contrario puede ser destructora, idiotizadora o puede aumentar la burocracia y convertirla en burrocracia, puede centralizar en vez de descentralizar.

Al llegar al resultado de una investigación, ganamos la enorme satisfacción de sacar algo, y no hay nada más gratificante que la investigación científica, creo que ni hacer el amor es a la larga tan bonito, como trabajar sobre un objetivo, aunque puede ser por un periodo muy largo; pero de repente las cosas salen. Por un momento uno se siente como Dios en el séptimo día de la creación y ¡vaya que soy ateo! Pero es el único símil que se me ocurre para comunicar este éxtasis. Esa es una de las muchas razones por las que la investigación científica en vez de ser algo elitista, como es en nuestra sociedad, debería de ser algo a lo que todo el mundo tuviera acceso.

Toda concepción científica acepta válidamente confusiones y errores. La ciencia es, hoy en día, el principal motor de cambio social, y si queremos que la gente participe en la estructura de nuestro mundo, en el futuro es esencial que sepan cómo funciona este mundo, a dónde va, cómo se le puede aprovechar, cómo se puede evitar su abuso. La actividad científica forma parte de nuestra cultura y posiblemente la parte más vieja, por ello toda la gente debe tener acceso a ella. No se puede hacer buena investigación si uno no tiene una mente libre, dispuesta a cuestionar y a colaborar en equipo. ♦

ÁTOMOS Y MOLÉCULAS

Carlos F. Bunge

A pesar de que están en todas partes, de que sin ellos no podríamos ver, ni jugar, ni amar, ni pensar, ni empezar a entender al mundo, los átomos y las moléculas nunca han estado de moda en nuestro medio.

La fascinación y la excitación que causó el descubrimiento del electrón hace ya más de 90 años, la conmoción intelectual que sobrevino a la elucidación de la estructura electrónica de los átomos más simples, y el asombro y las polémicas con que fueron recibidos los primeros pasos hacia una comprensión de la estructura molecular, forman parte de una historia antigua, sin "valor de noticia". Además, la cultura latina es más receptiva de lo filosófico que de lo práctico, y dentro de lo filosófico se inclina más por lo inaccesible que por lo concreto. Así, será un relato sobre los tres primeros minutos del Universo, o una fantasía sobre la historia del tiempo, lo que absorberá la atención y la credibilidad del neófito. Los átomos y las moléculas parecieran ser demasiado reales para cautivar su imaginación.

No es que los átomos puedan verse o tocarse. Nunca nadie ha visto ni podrá ver un átomo en sentido literal ya que son muy pequeños, del orden de un Angstrom (un Angstrom es la cienmillonésima parte de un centímetro) y como discutiremos más adelante, los seres vivos estamos intrínsecamente limitados a un poder de resolución poco mayor a una micra, esto es, 10 000 Angstroms, y esto valiéndonos de un microscopio convencional de alta resolución.

El tamaño de los átomos empezó a conocerse con cierta confiabilidad desde 1904 cuando, en la Universidad McGill de Montreal, Rutherford midió el número de átomos de una pequeña muestra de helio, un gas inerte formado por átomos que poseen solamente dos electrones y que se acababa de descubrir. El gran científico neozelandés se la pasó nueve meses contando partículas alfa que producían un centelleo cada vez que una de ellas incidía en una pantalla de sulfuro de cinc.

Las partículas alfa son átomos de helio a los que se les han quitado sus dos electrones. En presencia de un gas, las partículas alfa se neutralizan, esto es, obtienen dos electrones para formar un átomo de helio, y Rutherford recogió estos átomos de helio y midió su volumen. La masa correspondiente se determinó a partir de la densidad conocida del helio gaseoso, que en el experimento mencionado no pudo determinarse directamente debido a la pequeñez de la muestra. De esta manera, Rutherford estableció que 4 gramos de helio tie-

nen, aproximadamente, 600 000 millones de billones de átomos, esto es, un 6 seguido de 23 ceros. Por razones históricas a este número se le conoce como número de Avogadro y se escribe $N(Av)$.

El lector ya habrá adivinado que, sabiendo cuántos átomos de helio hay en una masa dada de dicho gas, es posible calcular la masa de un átomo de helio, simplemente con dividir los 4 gramos por $N(Av)$, lo que da 6.7 dividido por un 1 seguido de 24 ceros. Usando notación científica, tenemos que un átomo de helio pesa $6.7 \cdot 10^{-24}$ gramos.

El valor de $N(Av)$ ha sido determinado por muchos otros métodos, y la concordancia entre los diversos resultados es una prueba tanto de la validez de las hipótesis que sustentan los diversos métodos (en el caso de Rutherford, la hipótesis de que cada centelleo correspondía a una sola partícula alfa y de que todas las partículas alfa producían un centelleo) como de la coherencia interna de la ciencia. A partir de $N(Av)$, de la densidad de un líquido o de un sólido, y suponiendo que en estos últimos los átomos están en contacto y sin sufrir deformaciones apreciables, es posible determinar que el tamaño aproximado de los átomos es de 1 Angstrom (entre 0.3 y 2 Angstroms, dependiendo del átomo y de su entorno).

Se llega a conclusiones análogas a partir de medidas del espaciamiento entre los planos de átomos en un cristal por medio de difracción de rayos X, realizadas por primera vez 11 años más tarde en Inglaterra por los Bragg (padre e hijo), o a partir de determinaciones directas de la masa del protón o de la masa de la partícula alfa.

Un átomo está formado por un núcleo de carga positiva y una nube de electrones con carga negativa. El núcleo atómico es relativamente pesado, y los electrones, siendo muy leves, circulan en derredor del núcleo a velocidades endemoniadas. Esta imagen fue dada por Rutherford en 1911, como resultado de la interpretación de sus experimentos de colisiones de partículas alfa con una lámina delgada de oro. Rutherford encontró que la mayoría de las partículas alfa pasaban a través sin alterar mayormente sus trayectorias, pero unas pocas no solamente eran desviadas sino que eran regresadas hacia atrás. Debido a la gran energía de las partículas alfa, era como si uno enviara una bala de cañón contra una cartulina y la bala saliera rebotada hacia atrás.

Suponiendo que toda la masa de los átomos de oro estaba concentrada en cargas positivas, Rutherford dedujo una fór-

mula que explicaba cuantitativamente sus resultados experimentales de dispersión de partículas alfa. Por su sencillez y sus alcances, este es uno de los resultados más bellos de toda la física. Decenas de miles de experimentos posteriores confirmaron y refinaron la hipótesis de Rutherford. En particular, la teoría cuántica de los átomos, que es la base de toda física atómica, descansa sobre dicha imagen del átomo.

En el laboratorio también se han hecho mediciones directas de la masa y de la carga del electrón, y de la masa del protón, que es 1836 veces mayor que la del electrón, y de su carga, que es igual a la del electrón pero de signo opuesto. Esto último puede parecer trivial, pero los físicos no piensan lo mismo: mediciones muy precisas de las cargas eléctricas relativas del protón y del electrón muestran que son iguales en magnitud, por lo menos, con una precisión de una parte en 100 millones de billones, esto es, un 1 seguido de 20 ceros. Las cargas de igual signo se repelen, y las de signo contrario se atraen, en ambos casos las fuerzas que intervienen tienen el mismo origen y son muy intensas. Por lo tanto, no es de extrañar que un electrón y un protón puedan combinarse para formar un átomo de hidrógeno. En este caso el protón hace de núcleo. El protón es el núcleo más simple, y el átomo de hidrógeno es el átomo más simple. La primera consecuencia importante del hecho de que las cargas del electrón y del protón sean iguales y de signo opuesto es que el átomo de hidrógeno es eléctricamente neutro.

El núcleo que sigue en complejidad es el deuterón, formado por un protón y un neutrón. El neutrón no tiene carga eléctrica, por lo tanto el protón y el deuterón tienen la misma carga. Además, la masa del neutrón es aproximadamente igual a la del protón, por lo tanto el deuterón tiene una masa aproximadamente el doble de la del protón. Un deuterón y un electrón pueden juntarse para formar un átomo de deuterio, llamado también hidrógeno pesado. Existe además un núcleo que posee un protón y dos neutrones, y que con un electrón puede formar el átomo de tritio. El deuterio y el tritio son variedades del hidrógeno y se los llama isótopos del elemento hidrógeno. Los isótopos de un elemento tienen núcleos con un número dado de protones pero difieren en el número de neutrones. Por ejemplo, los átomos de helio tienen principalmente núcleos con 2 protones y 2 neutrones, pero también tienen núcleos con solamente un neutrón, que corresponden a un isótopo de menor abundancia en la naturaleza.

La segunda consecuencia de que el protón y el electrón tengan cargas iguales y opuestas es que el número de electrones de un átomo es igual al número de protones de su núcleo. De esta manera, todos los átomos, al igual que el átomo de hidrógeno, son eléctricamente neutros. Por ejemplo, el átomo de helio, con un núcleo de 2 protones, tiene una nube electrónica compuesta de 2 electrones, y el átomo de hierro, con su núcleo de 26 protones, tiene una nube electrónica de 26 electrones.

Cuando se habla de átomos positivos se trata de "átomos ionizados", que han perdido uno o más electrones. No es que los electrones puedan perderse así no más; para removerlos de un átomo hay que darles una cierta energía, la energía

de ionización. Los átomos neutros también pueden ganar un electrón y transformarse así en iones negativos. A principios de los años 80, en el Instituto de Física se predijo la existencia de varios iones negativos. Experimentos posteriores en laboratorios de Suecia, Estados Unidos y Francia han venido confirmando la validez de dichas predicciones. Estos iones negativos tienen especial interés para fabricar láseres de longitudes de onda pequeñas.

Si, por algún motivo, se acumulan cargas de sentido opuesto en dos objetos separados por una aislante, y si la acumulación de carga pudiera continuar de manera indefinida, llegaría un momento en que ya sea el material aislante se volvería conductor, o los soportes que mantienen separados los objetos cederían a las poderosas fuerzas electrostáticas, obteniéndose como resultado final la neutralización de las cargas.

En gran escala, cuando la acumulación de cargas de sentido opuesto en las nubes y en la superficie de la Tierra es suficientemente grande, cae un rayo. La función del rayo es neutralizar las cargas, en este caso la nube no cae estrepitosamente hacia la Tierra debido a la viscosidad del aire, sino es el aire el que se hace conductor. Ya mencionamos que los electrones alrededor del núcleo forman una nube electrónica. Esta nube no tiene la estructura caótica de un gas sino que más bien está dispuesta en capas concéntricas que emanan desde el núcleo, como las capas de una cebolla, y dentro de cada capa la nube electrónica vuelve a parecerse a un gas, de ahí que se la considere una nube.

Los electrones de las capas internas son los que tienen mayor energía cinética (mayor velocidad, ya que la energía cinética depende del cuadrado de la velocidad) pero también son los que tienen una mayor energía potencial y esto es lo que los hace estar muy fuertemente amarrados al núcleo. A medida que las capas electrónicas se alejan del núcleo, los electrones que las pueblan tienen menos energía. Los electrones con menor energía son los que están en la última capa, la capa más externa. Dentro de cada capa los electrones se ubican en orbitales. Los orbitales son como una red de autopistas en un espacio tridimensional, donde los electrones pueden circular con mayor o menor facilidad, dependiendo de cada región del espacio. Un electrón en un orbital correspondiente a una capa dada tiene mayor probabilidad de encontrarse dentro de dicha capa que en las cercanías de las demás.

Además de carga y masa, tanto el electrón como el protón poseen un momento angular intrínseco que se llama espín. Como consecuencia del espín, ambas partículas poseen un momento magnético. En un campo magnético externo, el espín del electrón puede adquirir solamente dos orientaciones.

Un orbital no puede contener más de dos electrones, y tampoco puede haber más de un electrón con el mismo espín en un dado orbital: si un orbital está ocupado por 2 electrones, éstos tienen espines opuestos, correspondientes a las dos posibles orientaciones ya mencionadas. Se dice que los espines están apareados, o en un lenguaje más a tono con nuestra época, que los electrones en átomos y moléculas son heterosexuales, distribuyéndose en pares con espines opuestos. En presencia de un átomo vecino, los orbitales atómicos de la última capa se deforman y se combinan con los del otro átomo.

mo formando orbitales moleculares. Los electrones que se encuentran en estos orbitales moleculares pueden dar lugar a una ligadura química entre ambos átomos, en cuyo caso puede formarse una molécula diatómica estable si la energía cinética relativa de ambos átomos no es demasiado grande. También puede darse que los electrones en los orbitales moleculares menos energéticos establezcan una interacción débil, que puede ser atractiva o repulsiva.

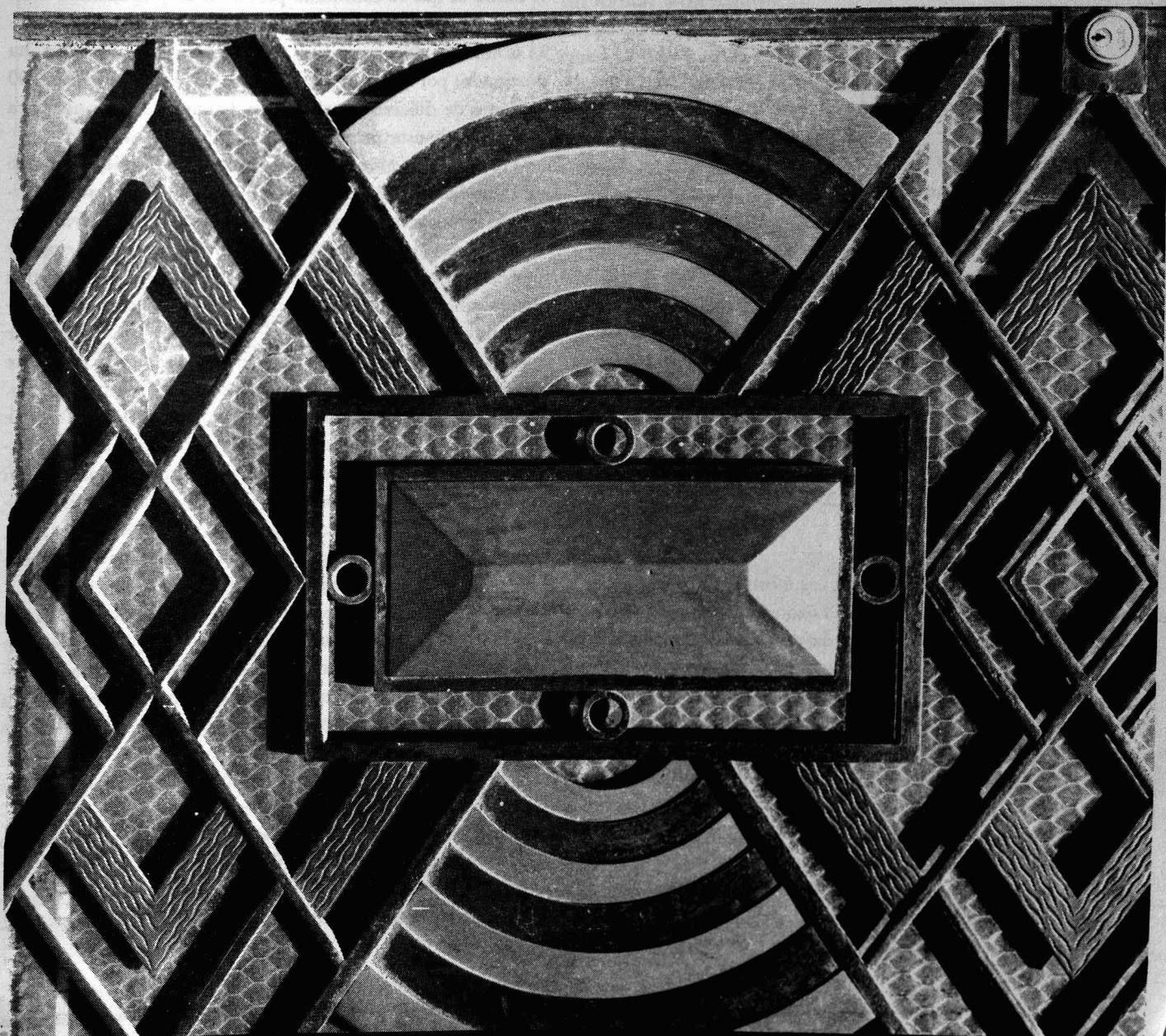
En el primer caso se trata de interacciones responsables por la licuefacción de los gases a bajas temperaturas, que son uno o más órdenes de magnitud inferiores a las que originan los enlaces químicos. En el caso de una interacción repulsiva, se forman moléculas de vida muy corta que tienen importancia en mecanismos de transferencia de energía.

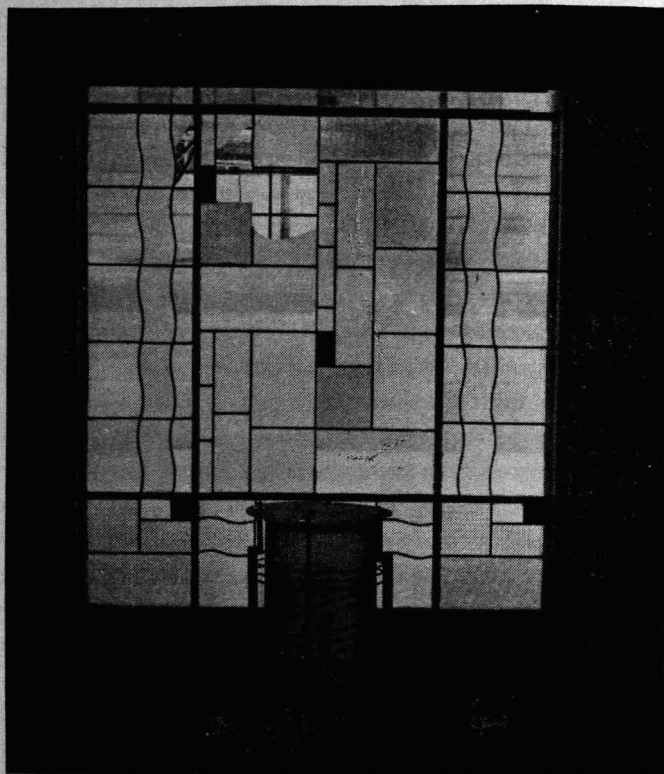
La valencia de un átomo es igual al número de electrones que participan en la formación de enlaces; un átomo puede enlazarse a uno o a varios átomos. Hemos visto que son los orbitales y electrones de la última capa, esos que tienen una menor energía, los que entran en juego cuando dos átomos se unen por medio de un enlace químico para formar una molécula. Por ello también se los llama orbitales y electrones de valencia.

Ya habíamos mencionado que existe un límite del poder de separación de detalles que podemos alcanzar con nuestra vista, el cual está dado por la longitud de onda de la luz visible, que es entre 4 000 y 7 500 Angstroms. No podremos ver con un detalle superior a los 3 000 Angstroms, ni ahora ni nunca, porque ninguna retina que se pueda concebir soportaría ser sometida a luz de longitud de onda inferior a 3 000 Angstroms. Por debajo de los 3 000 Angstroms, los fotones, que son las partículas que forman la luz, tienen energía suficiente para destruir a la mayoría de los enlaces químicos que mantienen unidos entre sí a los átomos de una molécula. En particular, estos fotones tan energéticos destruyen los enlaces de todas las moléculas orgánicas y son la causa de las quemaduras de sol cuando vamos a la playa.

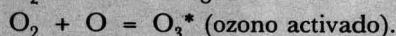
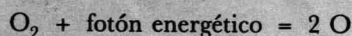
Estas líneas no podrían escribirse si no existiera una capa de ozono en la estratósfera (la región de la atmósfera por encima de los 17 km, donde no hay ni vientos ni lluvia) que absorbe la mayor parte de los fotones por debajo de 2 900 Angstroms, permitiendo que haya vida en la superficie de nuestro planeta.

El ozono es una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno que se forma en la estratósfera, durante el día, a partir



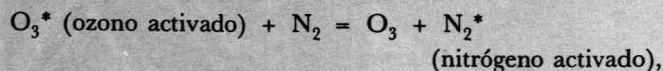


de moléculas de oxígeno y con ayuda de la luz solar, siguiendo los pasos que esquematizamos a continuación:



En el primer paso funciona como un generador de átomos de oxígeno: un fotón energético rompe una molécula de oxígeno en dos átomos de oxígeno. Los átomos de oxígeno son muy reactivos y enseguida se combinan con otra molécula de oxígeno para dar ozono activado. En el ozono activado, los átomos de oxígeno vibran muy agitadamente.

El ozono activado se desactiva por colisiones con moléculas de nitrógeno o de oxígeno:



para dar ozono normal, en el que los átomos de oxígeno vibran lo más lentamente posible. El ozono normal siempre se descompone espontáneamente en oxígeno molecular por medio de una variedad de mecanismos. Durante la noche el generador de átomos de oxígeno cesa de funcionar y el ozono desaparece gradualmente hasta el próximo día.

En la actualidad, la capa de ozono estratosférico está siendo destruida muy de prisa, debido a la llegada de los clorofluorocarbonos a la estratósfera, luego de más de 30 años de que comenzara su utilización comercial en aerosoles.

Los clorofluorocarbonos son moléculas muy simples, compuestas de un par de átomos de carbono, otro par de átomos de hidrógeno y algunos átomos de cloro y flúor. Estas moléculas forman un líquido que posee una gran presión de va-

por a temperatura ambiente (mayor que la presión atmosférica), para poder arrastrar la sustancia que se desea extraer de un recipiente, por ejemplo, un desodorante o una crema de afeitar. El problema es que, para no afectar la salud de los usuarios, los químicos buscaron compuestos que no fueran absorbidos por los organismos, y por lo tanto insolubles en agua.

Tan insolubles en agua son los clorofluorocarbonos que no se disuelven en los océanos y así, una vez que son liberados, se dispersan en la atmósfera y eventualmente, al cabo de algunas decenas de años, llegan en cantidades apreciables a alturas donde son descompuestos por los fotones energéticos produciendo átomos de cloro y de flúor. Estos átomos de cloro y de flúor son catalizadores muy efectivos para descomponer el ozono y permitir así que la radiación ultravioleta, dañina a la salud, llegue hasta nosotros.

Hace más de 15 años, Mario Molina, un químico mexicano que trabajaba en un grupo del Departamento de Química del Caltech en California, dio varias conferencias, algunas en México, alertando sobre el peligro que iban a representar los clorofluorocarbonos en la década siguiente. Quienes debieron haberlo escuchado no le hicieron caso, y el hecho es que se continúan produciendo y utilizando estas sustancias que están destruyendo la capa de ozono de manera dramática. Noruega, uno de los países más afectados, ha destinado, por ley, uno por ciento de su producto bruto (100 millones de dólares anuales) a un fondo internacional para el estudio de este problema.

Hoy también preocupan las grandes cantidades de ozono en la ciudad de México. Debido a la capa de ozono estratosférica, los fotones energéticos que allá arriba disociaban moléculas de oxígeno, aquí al nivel del suelo casi no llegan, y por ello la producción de ozono en la ciudad se debe a otros mecanismos. La acción combinada de la luz solar con agentes oxidantes como el dióxido de nitrógeno, y sobre todo de ciertos aditivos de la nueva gasolina que empezó a utilizarse desde hace unos años, han causado altos niveles de ozono.

El ozono es un gas aún más venenoso que el cloro que se usaba en la Primera Guerra Mundial. Su inhalación en cantidades apreciables, como las que se registran diariamente en el Valle de México, produce enfisema y probablemente induce el cáncer y la formación de sustancias cancerígenas. Así, no es exagerado afirmar que los habitantes del Distrito Federal estamos siendo gaseados.

En la actualidad se conocen unos cinco millones de moléculas distintas, la mayoría de las cuales son producidas por los organismos vivos, por lo que se las llama "moléculas orgánicas". Se sintetizan unas 500 nuevas moléculas todos los días, pero se conocen más o menos bien las estructuras de unas diez mil.

Se podrá decir que la física es difícil, que las matemáticas son incomprensibles, que la biología guácatelas, pero es frecuente que a la química se la odie sin pudor. Sin duda esto tiene que ver con lo que tratan de inculcar maestros anticuados y sin vocación. Porque si hay un mundo lleno de sorpresas y de cosas bellas e interesantes, ese es el mundo molecular. ♦

La luz irrumpe en la sombra: Doce poetas mexicanas

La poesía tiene la instantaneidad del relámpago: su luz sobrevive al olvido gracias a que su testimonio se prolonga en el trueno. Obturador del alma, fijador de las imágenes en fuga, el objeto verbal es prueba irrefutable de que la poesía ha estado; en él permanece lo que fue, lo que continúa siendo. Doce aproximaciones a esa luz que irrumpe en la sombra —imagen de un poema de Elsa Cross— se ofrecen en este muestrario de la poesía que escriben las mujeres en nuestro país. Su calidad, constancia y permanencia en el panorama de las letras actuales, permiten ya reconocer las peculiaridades de cada una: la precisión sustantiva y la economía de trazo en Elva Macías o Verónica Volkow; la búsqueda de un centro, traducida en himnos de alabanza o elegías en Elsa Cross y Gloria Gervitz; la joven y prematura nostalgia de Beatriz Stellino y Aura María Vidales; la exigencia conceptual de Pura López Colomé y Carmen Boullosa; los paisajes interiores de Marianne Toussaint y Carmen Villoro.

Más allá de manifestos estridentes o declaraciones de principios, rechazando una artificiosa escritura femenina, estas voces revelan que la poesía escrita por mujeres es de las más sólidas, originales y representativas de nuestro momento. Lo demuestran, entre otros, libros como Apuntes de abril de Silvia Tomasa Rivera, Fuego interior de Nelly Keoseyán, y tres poemarios que han merecido el Premio Aguas-calientes: El ser que va a morir de Coral Bracho, Las visitantes de Myriam Moscona y Los poemas de Antares de Elsa Cross. Enhorabuena por la belleza doblemente armada en estas iluminaciones que hacen más habitable la penumbra en medio de la cual subsistimos. ♦

LOS POEMAS DE ANTAR

Elsa Cross

(Fragmento)

Huyeron en desbandada,

como palomas,

pensamientos con su mensaje oculto.

Y un pensamiento por encima de todos,

un pensamiento altísimo de ti

su vuelo impuso.

Múltiples sus señales:

un huevo de luz irrumpiendo en la sombra,

un tigre con las fauces abiertas,

un camino blanco alumbrándose solo.

Contemplo sin nombrar,

sin preguntarme.

Dejo que se impregne de visión el ojo.

Pierde significados.

Se vuelve simplemente lo que mira.

Y de pronto,

como una piedra rompería

la superficie quieta de un lago,

tu imagen que aparece en mí

se despedaza.

Tu rostro se vuelve serpientes multicolores,

fragmentos huidizos

que nunca podrán volverse a unir.

Vuelan los pensamientos,

se atropellan,

se apresuran a hablar,

pero traen sólo sus alas raídas.

No hay vuelta atrás.

Algo ya te ha unido

a la verdad que se revela

en el silencio.

Llegan murmullos en oleadas

sin formar letra alguna.

Lenguaje como de mar,

como de lluvia en las palmeras.

El murmullo impregna cada cosa.

Es el nombre de las cosas.

En su pausa se deshacen los cuerpos,

se desintegra el pensamiento

como un puñado de arena

que se lanzara al aire.

La tarde se derrama en los tejados.

Desde su transparencia

veo pasar nuestras formas,

una historia irrepetible,

un destino completo.

De pronto desaparecen,

como alguien soplando sobre cenizas,

y de nuevo el silencio.

Ya no nos pertenece esa voz

ni siquiera sus ecos

llenando el aljibe de los sueños,

INDICIOS

Elva Macías

Este es el relato que te inscribe en la leyenda.

Y por esta memoria y esta dicha de haberte cuidado

como el hijo varón que nunca tuve,

después de tu traición te consuelo y resguardo.

Niño deseado por todos,

como hechizado inicias la marcha

y a tu galope no emboscadas, no ejércitos,

ni fieras salvajes se enfrentan.

Sólo encrucijadas de tu historia:

el peine que tu amada caprichosa tiró
se vuelve un zarzal inextricable,
espinas que partirán tus brazos.
El espejo en que tu madre contempló su desencanto,
se convierte en un lago de agitadas aguas que cruzará tu barca.
La espada que abandonó tu padre
abrió al caer de tajo un precipicio que librarán tus pasos.
Desde el alcázar en que tejo las redes del insomnio
te prevengo de las trampas de tu destino.

LETEO

Gloria Gervitz

A la memoria de Marie Langer

VI

entre las ruinas
la noche
potranca
la luna se cuelga de las ramas del pirul
ah las ciudades del pensamiento
las disonancias, los residuos, las meditaciones y el deseo
inalterables sedimentos bajo mi piel
¿y qué había que saber que no supiera ya?
sólo la compasión es infinita

VII

las paredes tienen la textura del limo
hay una terquedad en las palabras, en el peso de las cosas
los recuerdos son un puente
¿hacia dónde, desde dónde?
las ofrendas se marchitan en la memoria
la oscuridad se congela
la lealtad desgasta lentamente como a una piedra el agua
y el pájaro regresa a un nido saqueado
el silencio no purifica
dejo atrás los días, la fragilidad
el aire seco
el sosiego de esas voces que uno conoce de siempre

IX

las palabras están secas
la piel está reseca
ardida
el pulso es desacompañado y quema
es la tarde o el comienzo de la tarde
yo quería vivir más tiempo
yo quería vivir otra vida, yo querría volver a tener voz

X

el paisaje se inmoviliza en la desmesura
arriba están las configuraciones del polvo, la luz
el tedio y la sombra breve de los sauces

XI

estoy aquí a solas con mis viejas obsesiones, mis viejas
manos
mi viejo corazón
las palabras se curvan, se tocan, se oscurecen
alguien afuera abre una puerta, alguien toca el piano
no sé qué siento, quizá nada, quizá es el miedo
las palabras se olvidan y se guardan

no te debo nada, tiempo, enseguida anochece

sigo el movimiento del sueño, sus huellas pequeñísimas
sigo el movimiento del río, su peso, sus partículas, su
silencio
sus larvas, sus laberintos, las estrellas que flotan como
cáscaras

quedan los fresnos, la pared llena de fotografías
la mañana
la de después, la espesa, la más temida
la mañana para no ser vista, la mañana para llorarme
la larga, la indefinible, la quieta mañana

el aire se arquea con el peso de las acacias

POEMA

Myriam Moscona

(Fragmento)

Las señales de humo
no alcanzan a darte aviso.
Indisoluble,
tu presencia granulosa
se adhiere a mi casa,
a mis hábitos, a mi lugar.
Por ti me he perdido.
Tu benéfica sombra lo alarga todo:
me proyecta estilizada y grande sobre mi ciudad.
Oh, mi dirigente,
construye un dique capaz de parar esta vorágine,
sostén los años que están por pasar,
haz una muralla con tu cuerpo.
Mi sombra parece dividirse.
¿En cuál de esas proyecciones góticas está tu nombre?

Levanta una ciudad.
Elévame a sus torres,
abre un horno en lo alto de las casas:
ardan los humores.
Más arriba, ahí,
donde sólo los depredadores vuelan
nombraré a solas este aliento
y nadie podrá pasar:
sólo tu espejismo.

MAIMÓNIDES

Ikram Antaki

“¿Cómo decirles lo trágico y lo absurdo?”
preguntó el joven paseante de la noche
y era como si la noche nunca hubiera existido.
Su voz era frágil
podía parecer execrable
voz donde los signos arrastran la banalidad
voz de infancia seductora
“Traten de entender
quizá podrán
esbozar este pasado extraño.”
El suelo se abría
una sensación de pánico a través de misteriosas barricadas
inventaba tintes de dolor
Dejó la tierra
la realidad física de la brutalidad y del vértigo
y comenzó a contar historias de amor e ironía.
“Fui judío en Córdoba”, dijo
y era como si la libertad de palabra
el indeterminismo, las independencias
la fascinación y la extravagancia
fueran de repente instrumentos desconocidos
de métodos principales
adornados por la tentación
¿Quién armaba y obsesionaba la vida?
¿Quién impedía al mundo cambiar sus fundamentos?
¿Quién seguía apedreando la seducción por simple placer?
“En el mercado de las malicias
yo vendía instrumentos verdaderos.”
¿Quién obligaba a las criaturas a intercambiar
las palabras con la mentira?
El verbo como valor de cambio
penetró violentamente en las cárceles del Este
y el hombre se salvó.
Voz de noble que no palidecía.
Voz ingrata de los efectos inéditos
su serenidad era tan extraña que se podía esperar lo peor
de su alma
la sangre de los lirismos
un incendio imaginario.
La creación
prolonga las trayectorias de fugas y de rupturas
cambia los rumbos
borra las pistas
veinte años de furor generoso
atrapado en los muros
hacían irreal el dolor
lo volvían ligero
La prisión y la violencia
las relaciones complejas y los comportamientos equívocos
la violencia total de los juegos malvados
la violencia final
aquella sensación de perder a los demás y perderse
dejaron su vuelo

se hicieron lentas, luego inmóviles
desnaturalizadas.

Y él —en estado de absoluta ingravidez
se puso a contar la historia del Este y del Oeste
la valentía incomparable de los diálogos
la curación de la envidia
aquella magnífica riqueza de los encuentros útiles
la determinación del placer
y el papel aterrador de las iglesias.
“Fui judío en Egipto”, dijo
y los hombres improbables no eran perseguidos.

PRISIONERA

Carmen Boullosa

¿Hacia dónde va la tarde como ebrio barco?
Su ancla fue tirada en el corazón del viento.

¿A dónde nos lleva?
¿Quién pudiera saltar y escapar a La Tarde!
...tal vez evitaría la muerte.

*

Yo sé que no saltaré.
Soy prisionera
como aquellos que encadenaban al barco para que lo
impulsaran con sus fuerzas.

*

Nos acercamos a los confines de la tierra.
El agua en la cual navegamos
caerá
caerá
caerá
y nosotros con ella.

*

¡Hacia la estampida nos lleva la tarde!
¡Al despeñadero...!

*

Sé que no puedo escapar,
que soy quien impulsa la tarde al despeñadero.
Mi propio cuerpo es anuncio de la muerte
y las miradas que mis ojos tiran al piso
(pájaros heridos, de alas tronchadas y huesos rotos)
impulsan al barco al lindero
donde la tierra acaba.

*

Para la prisionera
no hay cuerpo que la muerte pueda corromper,

ni gusto en el deleite del agua que infinita se enciende.
Remontaré las aguas escapadas
hasta sujetarme de la orilla de la tierra y trepar
para seducir encadenada otro barco a la muerte.

*

(. . .dejo las piernas,
y las palabras dejo para volar
y con el alma devastada vuelo,
y no veo, no oigo,
sólo siento el frío del desamor,
sólo el desamor y el frío
en la herida volando que llevo por cuerpo. . .)

*

Si finco a la tarde en una tierra plana,
¡yo no tengo dónde pisar!,
si tiro al barco de la tarde por la caída
interminable de agua arrojada,
¡yo no soy ni existo, yo sólo soy
caerme
caerme
caerme. . .!

*

Mientras caigo por el agua que se desploma donde la
tierra acaba,
escucho que ella quiere acunar a los amantes,
que yo sólo soy el animalito que maúlla tras la
puerta cerrada,
que quisiera ser como el agua que en luz se
enciende.

Y me vuelvo oscuridad. Oscuridad. . .

*

¡Ésta que cree ser un animalito
a todos los trajo aquí,
al despeñadero,
al lugar donde la tierra demuestra que la tierra es
plana y tiene fin!
¡Ésta que se dice rota y prisionera
condujo el barco
—a fuerza de mirar,
sin hacer uso del remo—
hasta la más interminable de todas las caídas de agua,
hasta donde los amantes consiguen lo temido y la
tierra consigue lo temido y el amor consigue
lo temido, inevitable!
¡Ésta que los trajo aquí es la noche!
Denme la espalda.
Soy la noche.
Huyan de mí. La noche es la muerte.

*

(Los dioses cambian las noches por los días
y consiguen el milagro del sol que rompe la
cáscara oscura y helada.

Los dioses miran mis ojos y dan la media vuelta:
mi candor los engaña:
creen ver en La Noche
—sólo porque la noche se entrega—
una indefensa gatita llorando frente a la puerta
cerrada,

engañados veo sus espaldas alejarse,
haciéndose diminutos monosílabos que casi no saben
decir *no*. . .)

*

(Donde sólo hay noche
llega el tiempo en que la lluvia se acaba
y las plantas se enferman porque extrañan al sol
y los niños dejan de reír
y los mayores olvidan el lenguaje del amor
porque extrañan al sol
y los tristes y los olvidados
donde abren los ojos
encuentran un espejo fiel para sus almas
silenciosas.
. . . Yo soy la noche y —aunque existen los dioses,
lo sé, los he visto—
parezco prolongarme más allá del tiempo que haría
tolerable el castigo que no sé si merezco).

*

He sido luz, también,
he sido luz y carne y amor y
he visto al tiempo caber en un dedal
y he oído la suavidad de mi alma cuando se entrega
sin temor.

*

Aunque lo digo no lo recuerdo:
sólo es noche lo que enciende el campo devastado
por el fuego.
¿Habrán levantado avena, maíz, habas, frijoles,
ruiseñores, lirios, gallinas o helados de colores
en las cosechas?
Sólo veo el campo teñido de negro
mostrando el luto de “—aquí pasó el fuego”,
y escucho el diálogo:
“—¡cómo lo sentimos!”
“—Nos unimos a su duelo.”
Aquél no puede hablar porque las lágrimas han
ocupado el lugar de las palabras.
Zozobran en el llanto y los abrazos mentirosos
mienten:
nadie puede compartir la soledad de la noche
prisionera.
Nadie. Ni la oscuridad.
Ni la muerte.

POEMA

Pura López Colomé

Del libro *Un cristal en otro*

Gracias a que te tuve cerca alguna vez
supe lo que destilaba el nombre
con que solía atraerte,
y su poder.

Tantas veces miré tus manos,
que nunca quise recordarlas,
imaginarlas, mucho menos.
Te amé sin miedo, con la intensidad
de un niño. Y así te amo.

Te dabas cuenta de todo.
Sentías el hilo invisible
tejiendo su red sobre nosotros.

Unos quedan absortos y otros se disuelven.
Henos aquí a los otros, a los unos
observándote y buscando una salida,
diluyendo en minutos y segundos
el sabio intercambio de los actos,
dándote forma de viento.

Y hablé contigo.
Concebí en el alma un ángel bueno,
vi la orla de su traje y el filo dorado
que sus alas dejaban al pasar.
Un ave del paraíso.
Y nunca se me concedió
regresar hasta aquel cuerpo,
borroso primero, borrado luego.
Hasta ahora.
Hasta mi momento de soberbia,
de la herida que más duele,
la siempre abierta,
como un ojo.

Mas no aliviaste mi pena.
No me quitaste con el dolor la vida.
Llegaste a mí para decirme
no sólo por gozar y padecer
tenemos un sentido;
también formamos parte.

No quieras irte, habitante,
no huyas de la recompensa que es la vida,
no finjas otra escapatoria;
saca del fondo las monedas,
luz de luz,
y del tesoro absorbe fuerzas,
grata infancia que asome por tus poros
y cierre el círculo con dos manos
en las tuyas.
Besa su profundidad oscura.
Que la tormenta arrase.
Que la tierra te fecunde.

MARRUECOS

Marianne Toussaint

I/

El sol blande su cuchilla de luz entre las cimitarras
desde las almenas cae un olor caliente.

Demasiada claridad

sólo tengo tres años en la memoria.

De la montaña, baja el tropel de los caballos a la plaza
rostros afilados por el viento.

De fiesta, ellas ensordecen su penumbra,
las mujeres encienden sus gargantas

son una sola perforando la tarde.

A lo lejos el rumor desaletarga el sexo de varones
después callan

todo el día las mujeres callan

saben que de noche el animal asaltará sus velos, abrirá sus flancos
ellas volverán a encenderse en una leve flama.

De nuevo el día es una esfera de insectos.

Mamá y yo nos detenemos

deambulamos por las calles hasta el correo

huele a tinta

la frescura postal es una burbuja dentro de la luz
se oye el golpe, los sellos, el crujido del papel

espero junto a mi madre con las nalgas frías sobre el mostrador de
Aspira el olor de las cartas mármol.

entorna los ojos

la pierdo entre las letras.

II/

Un rayo de sol nos guillotina la vista en el desierto.

El aire nos mueve en su paisaje.

¿En qué imaginación de pronto somos sorprendidos como ajenos?

¿A qué ruta?

¿A qué punto del universo podríamos desprendernos?

Desde los sueños se reúnen los miedos y aciertan en su centro.

Castigado por algún efrít

el viento aprisionado en la bóveda azul del desamparo

gira estrellándose contra las cortinas invisibles

afiebrado va cambiando todo de sitio

gime a ras de arena conversando con serpientes y escorpiones.

Entre la calma antes del presagio

se precipita sobre las caravanas esa lluvia mágica del simun.

III/

De noche Marruecos huele a naranjo y hierbabuena.

Mi padre también recibe cosas lejanas.

Ellos dos, distantes de sí mismos,

se congregan ante el fulgor de los ojos infantiles.

Él abre una grieta entre las palabras.

Ella queda del otro lado del abismo.

Una niña apaga sus ojos y recuerda lo que pensará mañana,

AGOSTO

Carmen Villoro

Hay ciudades que saben
del aire en las esquinas.
La falda que se enreda
y el discreto rehilete son testigos
de esta brisa callada, vespertina
que sube por el kiosco
y se lleva los globos allá lejos.
Hay ciudades que saben
que el hombre nació para el verano,
para oír golondrinas a las seis de la tarde
y tomarse la vida en una horchata.
Hay ciudades de agosto, marimberas,
perezosas joviales,
enamoradas siempre de las olas.
Remedio de otras tierras,
ciudades de la luz,
templos del viento.

CANTO A LA LUZ

Aura María Vidales

Para Aura Elvira

Desvestida del ser
me abrigo en la substancia pura.
Oigo caer el agua,
todas las lluvias sobre la tierra;
y la voz blanda de los ríos
cantar en sus cauces.
Suben los aires dulces
a formar el himno lírico del día.

Polvo de alas blancas fecunda al horizonte,
crece, se ramifica y abre luces
en la hora del encuentro.
Cesa el viento, la voz nace
y como fruto, se abre a la llovizna.
La sombra viva, de fuego, danza.
Llama blanquísima que toca mis ojos:
la luz lo viste de sí mismo eternamente.

Digo su nombre.
Es el ángel quien desprende sus alas
y las coloca en mis espaldas.
Atrás de los hombros, resplandor.
Cultivo el azul
y sus raíces surcan mis omóplatos.
Él tiene frío y ausencia de vuelo.
Soy aleteo.

EL FUEGO Y EL MAR

Verónica Volkow

El mar encierra su piel adentro	el brillo de tus ojos
su piel de brillantes	está hecho de mundo
rayantes	de sol
estallantes	y de tus ojos
su agua de soles	plenitud en un punto
que es agua	es memoria el agua de los sueños
que son soles	es memoria el agua del fuego
transparencia y espejo	lo que miras arde
afuera adentro	intensidad enigma
sólo de la luz entiende el agua	afuera adentro.
fuego en el espejo sin fuego	

POEMA

Beatriz Stellino

Eres el vacío en que cifro íntimas enumeraciones
y aunque poco haría por nombrarte o acercarme, escuchas.
Como siempre sola disfruto la ignorancia del final.
Quisiera que el vaso cayera intacto de la mesa al suelo,
que tu memoria y la mía huyeran al país de los colores.
Una misma cosa me impele y detiene.
Quisiera dejar claro que es mi capricho quien se ata zapatillas de baile
y desea imaginar cosas que van en contra de la inercia.
Tu cercanía enciende la música y mi curiosidad por saber de los sabores,
descubro las mechas que pudieran deshilar el porvenir
y las acaricio con mi aliento
susurrando que no se vale decir los secretos en voz alta
porque se rompen.
Y rompo el secreto porque en él va mi delirio abandonándose.
Tal vez recuerdo que lo cierto es otra cosa
y que los ventanales sirven para mirar lo que está afuera:
un cielo en el que llueven blancos titanes,
una estampa en la que laten como lodo.
Y tú afuera y yo adentro.
No quiero despertar de ti cuando mis volcanes devasten los alrededores,
la voraz de mi hambre pudiera ser una mentira más
arrojada por los conquistadores que llegaron en sus barcos.
Lo apreciado de ti es ese más allá en el que cabes entero
y del que te asomas, a veces, en las despedidas.
Mi lluvia se contiene,
sinceramente acallo y acato y miro un espejo
para repetir que es una invención en la que me baso
para destartalar mi propio mundo y arrojarlo como chatarra por ahí.
No puedo darle el lujo a mi embeleso
¿quién va a impedir que te disfrute? Ni tú mismo
y me atrevo a cantar: óyela a esta voz,
advierte que juega inofensiva a enamorar. ♦

CIUDAD DE MÉXICO: SISMOS Y MONUMENTOS

Martha Fernández

La ciudad de México ha tenido que sobrevivir a dos factores de origen natural que la han acompañado a lo largo de su historia desde el día en que se fundó Tenochtitlan: el de ser zona lacustre y el de ser zona sísmica. La combinación de ambos ha sido una amenaza constante para la vida de los seres humanos y una condicionante indiscutible de su desarrollo arquitectónico.

Relatar la historia de las trágicas consecuencias, para hombres y monumentos, que los sismos han provocado en seis siglos de existencia de la ciudad de México, sería empresa de varios volúmenes que no podríamos resumir en unas cuantas páginas, de manera que nos hemos de conformar con abordar temas muy concretos. En la primera parte: algunos criterios constructivos de la época colonial y noticias de edificios dañados a causa de los terremotos. En la segunda parte: el destino de algunos de esos monumentos virreinales después de los sismos de 1985 y ciertos criterios de restauración empleados para rescatarlos de la ruina.

Criterios constructivos de la época colonial y monumentos dañados por los sismos

Para los habitantes de la "Muy Noble, Leal e Imperial Ciudad de México", la conciencia de que se encontraban en una zona sísmica fue siempre muy clara, de manera que en cuanto a los criterios constructivos de edificios públicos, religiosos y privados, fueron muy estrictos.

Así, por ejemplo, respecto a los materiales, su proporción dependía del sitio en el que se fueran a emplear, de modo que, verbigracia, en una escritura que el arquitecto Cristóbal de Medina firmó el 28 de septiembre de 1677 para reconstruir la capilla del Sagrario de la parroquia de la Santa Veracruz, especificó lo siguiente:

... todas las mezclas para los cimientos han de ser de tres de arena, dos de tierra y dos de cal y todas las demás mezclas han de ser de cinco de arena y dos de cal y las mezclas de que se hacen las bóvedas han de ser de tres de arena y dos de cal. . .¹

Los cimientos, sustento de los edificios, tenían diferentes ca-

racterísticas de acuerdo con el edificio de que se tratara e incluso de los muros que se fueran a cimentar, por lo cual en el documento citado se aclara que los cimientos de las paredes maestras:

... han de ser de vara y tercia de grueso y de fondo de una y media, estacados con morillos de cedro y de una estacada a otra, ha de haber una cuarta. . .²

Tanto las estacas como la separación que debía existir entre ellas eran muy importantes, pues, al parecer, eran la base de consolidación de los cimientos, al punto de que, por ejemplo, en 1693, mientras se construía la Cárcel de la Ciudad en el Palacio Virreinal, se notó una falla: durante las inspecciones, un barretero logró introducir la barreta entre las estacas con facilidad y fue entonces, según se afirma en los documentos, cuando se demostró "cuán frágil era el fundamento que cargaban estas habitaciones".³

Los muros, por su parte, solían tener diferente grosor. Los de carga medían normalmente "una vara", esto es, 0.835 m. y los demás, "tres cuartas", aunque en casos de edificios especiales, como las cárceles, todos los muros se construían con el mismo grueso. Por ejemplo, el arquitecto Diego de los Santos y Ávila en su proyecto para edificar las cárceles secretas del Santo Tribunal de la Inquisición, declaró el 27 de octubre de 1657 que las paredes:

... así maestras como anexas han de ser de una vara de grueso hasta los primeros suelos o enmaderados. . .⁴

Una de las principales preocupaciones de aquella época fue también la altura que debían alcanzar las construcciones. En este sentido, las crónicas resultan muy elocuentes. Francisco Cervantes de Salazar, por ejemplo, en su *México en 1554* pone en boca de Alfaro las siguientes palabras, cuando describe las casas de la calle de Tacuba:

... y para que en todo sean perfectas, tampoco exceden la altura debida, con el fin, si no me engaño, de que la de-

² *Ibidem*.

³ *Palacio Nacional*, México, Secretaría de Obras Públicas, Unidad Editorial, 1976, p. 77 y 300, *Apud*: AGI (*Escribanía de Cámara*: 1050 A).

⁴ AGI (*Real Fisco*: 115, doc. 2, fol. 13 r. - 17 r.).

¹ AN (*Notario José de Anaya*, 28 de septiembre de 1677, fol. 72 r. - 73 vto).

masiada elevación no les sea causa de ruina, con los terremotos que, según oigo decir, suele haber en esta tierra. . .⁵

Es verdad que en su *Theatro Americano*, publicado entre 1746 y 1748, José Antonio de Villaseñor y Sánchez, afirmó que la población de la capital:

. . . se ha acomodado en menos recinto el cuerpo formal, por ocuparse el aire con sus altos, ciñéndose a menos ámbito lo muy lucido de la ciudad.⁶

Sin embargo, la altura de las construcciones, aun las religiosas —sin la cúpula— jamás rebasó el equivalente a los tres pisos que, al parecer, toleraba el subsuelo de México, de acuerdo a las técnicas constructivas virreinales. Este número de niveles debió de establecerse desde muy temprano, porque Thomas Gage registra que para 1625 las casas no eran altas:

. . . a causa de los terremotos frecuentes que se padecen en aquel clima y que podrían derribarlas si tuvieran más de tres pisos. . .⁷

Ahora bien, aunque las medidas técnicas de las que hemos hablado eran, sin duda, importantes, podemos afirmar que la mayor virtud que tuvieron en aquella época fue el sentido de responsabilidad por parte de los arquitectos y de las autoridades, manifiesta en una práctica saludable: consultar varias opiniones durante los procesos constructivos y reconstructivos.

Por lo general, se buscaba la experiencia y los conocimientos de los arquitectos nombrados como *maestros mayores*, de manera que, por ejemplo, cuando en 1678 se firmó el contrato para construir la capilla del Sagrario de la parroquia de la Santa Veracruz, los arquitectos Luis Gómez de Trasmonte y Rodrigo Díaz de Aguilera (maestro mayor y aparejador mayor de la catedral de México, respectivamente) quedaron como supervisores del arquitecto Cristóbal de Medina Vargas, autor del proyecto.⁸

En vista de que no siempre los *maestros mayores* eran los más conocedores de todas o de ciertas técnicas constructivas y conscientes de que no por ser *mayores* eran infalibles, en ocasiones también sus proyectos fueron sometidos al juicio de otros ar-



Palacio del ex-Arzobispo. Primer patio. Foto Martha Fernández. 1989

quitectos, como el ya citado de las cárceles secretas de la Inquisición: Diego de los Santos era el maestro mayor del Santo Oficio, sin embargo, su proyecto fue revisado y corregido por los arquitectos Rodrigo Díaz de Aguilera y Rodrigo Berنال de Ortega.⁹

A pesar de tanto cuidado y tantas precauciones, muchos edificios sufrieron daños de distinta magnitud durante el Virreinato a causa de los sismos. He aquí algunos ejemplos.

Antonio de Robles, en su *Diario de sucesos notables*, registró puntualmente el sábado 30 de julio de 1667 que:

. . . a las diez y tres cuartos de la mañana, tembló la tierra por gran rato de Norte a Sur, que causó a todos mucho temor. Hizo daño en la torre de Santa Clara de México. . .¹⁰

Asimismo, el propio Robles apuntó el jueves 19 de marzo de 1682 lo siguiente:

. . . tembló la tierra horrorosísimamente, cerca de un cuarto de hora; y se abrió la tierra por muchas partes, y se cayeron algunas casas viejas de adobe, a las tres de la tarde.¹¹

Estudios modernos también se han ocupado de recoger algunas noticias de los terremotos ocurridos a lo largo de la histo-

⁹ AGN (*Real Fisco*: 115, doc. 2, fol. 20 r. - 22 r.).

¹⁰ Antonio de Robles: *Diario de sucesos notables (1665-1703)*, edición y prólogo de Antonio Castro Leal, 3 t., México, Editorial Porrúa, 1946, t. I, p. 40.

¹¹ *Ibidem*, t. II, p. 16.

⁵ Francisco Cervantes de Salazar: *México en 1554 y Tímulo Imperial*, 6a. ed., edición, prólogo y notas de Edmundo O'Gorman, México, Editorial Porrúa, 1985, p. 42.

⁶ José Antonio de Villaseñor y Sánchez: *Theatro Americano. Descripción General de los Reynos y Provincias de la Nueva España y sus jurisdicciones. Dedicada al Rey Nuestro Señor D. Phelipe Quinto, Monarcha de las Españas*, prólogo de Francisco González de Cosío, 2 V., México, Imprenta de la Viuda de José Bernardo de Hogal, 1746-1748, t. I, p. 33.

⁷ Thomas Gage: *Nueva relación que contiene los viajes de Thomas Gage en la Nueva España. Sus diversas aventuras, y vuelta por la Provincia de Nicaragua hasta La Habana: con la descripción de la ciudad de Méjico, tal como estaba otra vez y como se encuentra ahora (1625): unida una descripción exacta de las tierras y provincias que poseen los españoles en toda la América, de la forma de su gobierno eclesiástico y político, de su comercio, de sus costumbres, y las de los criollos, mestizos, mulatos, indios y negros*, 2 t., París, Librería de la Rosa, 1838, T. I, p. 175.

⁸ AN (*Notario José de Anaya*, 24 de enero de 1678, fol. 70 r. - 71 vto.; 24 de febrero de 1678, fol. 68 vto. - 69 vto. y 74 r. - 75 vto.).

ria de la capital, como la *Relación histórica de movimientos sísmicos en la ciudad de México (1300-1900)* de María Concepción Amerlinck¹² quien nos proporciona los siguientes datos:

El 3 de septiembre de 1698 "... a las cuatro de la mañana, hubo un recio movimiento que tuvo malas consecuencias: derribó dos casas, una de ellas, del Portal de Tejada, cobró dos víctimas".¹³

Del mismo modo, el 4 de abril de 1768, un temblor más causó verdaderos estragos en varios edificios, entre ellos, el del Santo Tribunal, de manera que el arquitecto Lorenzo Rodríguez tuvo que informar "... sobre los daños resentidos en la Inquisición y reparó las azoteas; asimismo arregló otros inmuebles pertenecientes al Santo Oficio".¹⁴

Varios sismos en cadena se produjeron el 21 de agosto de 1776, en consecuencia, "... se vino abajo la cárcel de la Acordada y se maltrataron la Casa de Moneda, el Real Palacio y otras construcciones".¹⁵

Y así sucesivamente. ...

Monumentos coloniales dañados durante los sismos de 1985 y algunos criterios de restauración

En la historia contemporánea de la ciudad de México se recuerdan como especiales tres "temblores de tierra": el del año de 1957, cuando "se cayó el Ángel" y, por supuesto, los de los días 19 y 20 de septiembre de 1985. Estos últimos fueron, sin duda, los más dolorosos, no sólo por el número de edificios colapsados o dañados notablemente, sino en especial por la cantidad de víctimas que ocasionaron.

A los ya tradicionales problemas modernos de la ciudad de México (contaminación, vialidad, explosión demográfica, etcétera) vinieron a sumarse los sismos, que agudizaron el de vivienda y el de salud. Para muchos, fue demasiado y decidieron emigrar. Otros permanecemos aquí en busca de solución a nuestras preocupaciones, ahora multiplicadas. Una de ellas, la del destino que corrieron nuestras obras de arte: creación de nuestros antepasados y de nuestros contemporáneos y, como tales, manifestación de nuestras raíces históricas.

En lo personal, mucho espacio ocupé en la sección "La cultura al día" del periódico *Excelsior*¹⁶ para dar cuenta de los daños que los sismos habían ocasionado a nuestros monumentos históricos, en especial, los de la época colonial. He aquí algunos de los recopilados.

La parroquia de San Gabriel de Tacuba ya se encontraba resentida antes de los sismos debido a las obras de la Línea 2 del Metro (la estación se encuentra justo debajo de ella), de manera que a raíz del movimiento telúrico, se descuadró



Palacio del ex-Arzobispado. Portada. Foto Martha Fernández. 1989

todo el templo y, en concreto, la torre se fracturó en la unión de los dos cuerpos, el cupulín se cuarteó y sus columnas se sobregiraron. La portada principal, prácticamente perdió el relieve historiado y, en el interior, una cuarteadura atravesaba a lo largo los tres primeros tramos de la iglesia, en tanto que en los arcos, se separaron las dovelas.¹⁷

El templo de San Fernando tampoco se salvó: en la cúpula del crucero se agudizó una vieja grieta que la recorría desde la linternilla hasta la cornisa de arranque, en tanto que en las capillas laterales del ábside, se abrieron grietas nuevas de gran profundidad, al grado de que tuvieron que cerrar el acceso a ellas.¹⁸

La iglesia de San Agustín, al parecer, no sufrió ningún daño estructural; sin embargo, en apariencia, sus daños fueron muy aparatosos: lo más impresionante fue el desprendimiento de la balaustrada que remataba el costado poniente, además, a lo largo de todo el edificio se vinieron abajo pedazos de cornisa tallada y aun hacia el exterior aparecieron cuarteaduras. De acuerdo con los reportes oficiales, en el caso concreto de este monumento, los edificios contiguos (un hotel y un estacionamiento) lo golpearon hasta provocar los destrozos que sufrió.¹⁹

Uno de los edificios más tradicionales y simbólicos de la ciudad que estuvo a punto de perderse fue la conocida Casa de la Campana, sede de la primera Imprenta que existió en la Nueva España. Durante años fue víctima del descuido, al

¹² María Concepción Amerlinck: *Relación histórica de movimientos sísmicos en la ciudad de México (1300-1900)*, prólogo de Luis Ortiz Macedo, México, Departamento del Distrito Federal, 1986.

¹³ *Ibidem*, p. 21.

¹⁴ *Ibidem*, p. 26, Apud: AGN (*Inquisición*: 1057, fol. 59 y ss.; *Real Fisco*: 147, doc. 1, fol. 1 - 60).

¹⁵ *Ibidem*, p. 26-27; Apud: AACdM (*Historia. Patronatos y Santos Patronos*: 3604, doc. 9).

¹⁶ Debo aclarar que los artículos que voy a citar, fechados en 1985 y 1986, serán publicados en un libro titulado *Ciudad rota. La ciudad de México después del sismo*, que ahora se encuentra en prensa en el Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM.

¹⁷ Martha Fernández: "Antes y después: el barrio de Tlacopan" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 18 de octubre de 1985.

¹⁸ Martha Fernández: "El templo de San Fernando: tesoro que urge preservar" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 22 de noviembre de 1985.

¹⁹ Martha Fernández: "Reedición del libro de Romero de Terreros: evocación del templo de San Agustín" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 5 de diciembre de 1985.

llegar los sismos de 1985 sus soportes se fracturaron, con lo que la casa se abatió y se inclinó hacia el sur.²⁰

También fue motivo de alarma el estado en el que quedó el que fuera Convento de La Enseñanza. Por mucho tiempo albergó al Archivo General de Notarías y, al igual que la Casa de la Campana, se dejó a su suerte hasta conseguir que su vencimiento estructural fuera visible. Ya en esas condiciones, recibió la embestida telúrica de 1985. Sus daños fueron tan serios que alcanzaron al edificio que ocupa El Colegio Nacional. Lo más notorio fueron muchos muros cuarteados y soportes fracturados, especialmente en el segundo patio.²¹

Preocupantes resultaron los problemas del que fuera templo de La Encarnación, pues alberga una biblioteca pública. Entre los problemas que le ocasionaron los sismos se pueden mencionar cuarteaduras que recorrían los muros desde el suelo hasta las bóvedas, que tenían unos cincuenta centímetros de ancho.²²

Por último, para no alargar demasiado esta lista, encontramos al ex-Colegio de Cristo en el cual, después del sismo, se encontraron grandes cuarteaduras visibles hasta la fachada.²³

De lo dicho, podemos concluir que los daños que sufrieron los monumentos coloniales a causa de los terremotos de 1985 fueron numerosos y, en algunos casos muy graves; no obstante, como veremos, en muchas ocasiones los criterios de rescate y restauración que se han aplicado en la ciudad —antes y después de esa catástrofe—, han provocado mayores deterioros a esos y otros edificios, que los propios sismos.

Comencemos nuevamente con la parroquia de San Gabriel de Tacuba. Según publiqué en un artículo el año de 1985, cuando sobrevinieron los sismos, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y el Instituto Nacional de Antropología e Historia se encontraban realizando obras de restauración en el templo,²⁴ de manera que todo hacía suponer que la iglesia se rescataría sin mayor problema. No obstante, los restauradores abandonaron su trabajo precisamente en el momento en que el edificio necesitaba con urgencia su intervención. En otro artículo reciente, me ocupé de contar cómo esas obras de restauración que debieron realizar los expertos, recayeron en el párroco José Reyes. Los criterios del párroco pueden resultar muy criticables, pero no cabe duda que el templo está en pie. En cambio, la torre sigue dañada debido a que el mencionado párroco no cuenta con personal capacitado para reestructurarla y no ha existido alma piadosa entre los especialistas que se ocupe de ella.²⁵

²⁰ Martha Fernández: "La Casa de la Campana: destino incierto" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 13 de febrero de 1986.

²¹ Martha Fernández: "El Archivo General de Notarías: edificio ennegrecido, triste y descuidado" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 28 de febrero de 1985; reproducido en el libro: *La ciudad de México. (De "Gran Tenochtitlan" a "Mancha Urbana")*, prólogo de René Avilés Fabila, México, Departamento del Distrito Federal, 1987 (Colección Distrito Federal: 14), p. 20-22. Martha Fernández: "El claustro de La Enseñanza: esperanza para el rescate" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 6 de marzo de 1986.

²² Martha Fernández: "El convento de La Encarnación: biblioteca en peligro" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 20 de marzo de 1986.

²³ Martha Fernández: "El ex-Colegio de Cristo: erosión por negligencia y desinterés" en *Excelsior*, sección "La cultura al día", 24 de abril de 1986.

²⁴ Martha Fernández: "Antes y después: el barrio de Tlacopan".

²⁵ Martha Fernández: "Restauraciones en la parroquia de Tacuba", en *Excelsior*, suplemento cultural "El Búho", 183, 12 de marzo de 1989.

En este caso concreto no nos encontramos solamente frente a criterios de restauración de dudosa aceptación, sino principalmente, frente a una franca irresponsabilidad por parte de las instituciones supuestamente encargadas de la salvaguarda de nuestro patrimonio.

El templo de San Agustín había sido restaurado antes de los sismos, para conmemorar el Primer Centenario de la Biblioteca Nacional. Por supuesto los trabajos estuvieron a cargo de la Universidad Nacional Autónoma de México y fueron fuertemente criticados por los especialistas del Instituto de Investigaciones Estéticas de la propia Universidad por el empleo de materiales ajenos a los que poseía originalmente el edificio y, en ocasiones, demasiado pesados, como las lozas de concreto colocadas sobre los viejos muros de mampostería y tezontle. Del mismo modo, los citados especialistas juzgaron inadecuada la rigidización de ciertas secciones de un monumento, por naturaleza, flexible.²⁶ Es verdad, como dije antes, que los edificios contiguos a San Agustín, lo golpearon, pero es posible que los elementos que se emplearon en su restauración impidieran que el templo se balanceara como lo hizo durante siglos.

La Casa de la Campana, por su parte, fue entregada a la Universidad Autónoma Metropolitana después de los sismos de 1985 y su estado es el mismo de entonces: abandonada, abatida y sola. No ha sido tocada hasta ahora, lo cual no parece nada deseable para un símbolo de la ciudad tan importante como éste.

El caso del templo de La Enseñanza merece mención aparte. El problema del edificio era doble: por un lado, el monumento mismo que amenazaba con desplomarse y, por el otro, los libros notariales que guardaba. Ahora bien, pese a los daños que le ocasionaron los sismos, en 1985 el monumento estaba completo, incluso los remates —fracturados y todo— coronaban los patios del edificio. En 1986 ocurrió algo inaudito:

²⁶ Martha Fernández: "Reedición el libro de Romero de Terreros: evocación del templo de San Agustín".



La Casa de la Campana. Fachada. Foto Martha Fernández. 1985

para proteger los libros, decidieron techar los patios con una obra más sólida, así que sobre la antigua y resentida construcción montaron una estructura metálica a todo lo largo y ancho de los patios. Para ello, tuvieron que nivelar la altura de las azoteas y entonces, a golpe de marro rompieron los remates y las cornisas y se retiró —seguramente con soplete— la barandilla de hierro forjado que unía entre sí los citados remates.

En un artículo que escribí en esta misma revista me pregunté: “. . . ¿quién ha podido afectar más al Archivo de Notarías: el sismo o nosotros? . . .”. La respuesta que di en aquel momento y que reitero ahora es:

Lamentablemente y, aunque parezca increíble e indignante: nosotros. Los daños que provocaron los sismos en el monumento fueron graves, pero todos eran susceptibles de restauración. Los que provocamos nosotros, la sola mano del hombre, son inevitablemente, *irreversibles*.²⁷

De todos los edificios afectados por los sismos, citados en este artículo, el que parece haber tenido una restauración más afortunada fue el ex-Colegio de Cristo, ahora convertido en Museo de la Caricatura. Con las obras de restauración, a cargo del Departamento del Distrito Federal, no sólo se pudo rescatar el edificio, sino que se tuvo oportunidad de descubrir muros y elementos del siglo XVII, ocultos desde las modificaciones que se le practicaron en la reconstrucción del siglo XVIII.

La mayor parte de las historias relatadas hasta ahora, parecen cuentos de horror en los que las víctimas son los monumentos y los verdugos todos nosotros: Sedue, INAH, UNAM, UAM. . . Pero esos cuentos podrían pasar desapercibidos si fueran los únicos; sin embargo, por desgracia, no es así, existen muchísimas historias similares y, aún peores. Por citar sólo un ejemplo, podemos hablar del palacio del ex-Arzobispado.

Ese importantísimo monumento, ubicado en la calle más virreinal de la ciudad, también sufrió daños con los sismos: dos cuarteaduras que se veían hasta la fachada (una atravesaba los estípites del poniente de la portada), el segundo patio se abatió hasta el oeste, etcétera, pero su gravedad no parecía tan obvia, puesto que técnicos especializados determinaron que el monumento era seguro y que podía seguir albergando al Acervo Patrimonial de la Secretaría de Hacienda, que entonces tenía su sede en ese edificio. Sin embargo, de acuerdo a lo que podía interpretarse como una clara conciencia del valor del monumento, se decidió que la Sedue lo restaurara. Ahí comenzó su desgracia. El monumento tuvo que enfrentar dos problemas: los tesoros prehispánicos y los criterios de restauración.

Como es de todos conocido, el palacio del ex-Arzobispado fue construido sobre la pirámide de Tezcatlipoca: ésta se convirtió en parte de su cimiento. El INAH y la Sedue se empeñaron tanto en quererla sacar, que acabaron por desestabilizar el palacio, al punto de que, según declaración de los propios arquitectos de la Sedue, ahora el primer patio se

encuentra “basculando” y está sostenido solamente por una verdadera maraña de puntales de fierro que han tenido que colocarle. Esto, sin contar nuevamente con el empleo de materiales ajenos a la propia construcción, como las trabes de liga que han construido a lo largo de las galerías del sur —de tezontle y concreto— que otra vez han rigidizado por partes al monumento. Para colmo, como colofón, se iniciaron obras de gran envergadura —como el hecho de partir en dos el monumento, para estabilizarlo— y las han dejado inconclusas. Así, aunque parezca increíble, a partir de la intervención de los restauradores, el edificio se encuentra en peores condiciones que cuando sobrevinieron los sismos de 1985.²⁸ En estos momentos, ya ningún técnico podría considerar “seguro” ese monumento. Cualquiera puede darse cuenta de su estado de ruina y del peligro que tiene de venirse abajo.

Lo más preocupante de lo que he dicho, es que para cometer y justificar criterios erróneos de rescate, reestructuración y restauración de monumentos, solemos ampararnos en el “difícil subsuelo de la ciudad”. ¿Acaso nuestros conocimientos técnicos no han superado la época colonial? . . .

Conclusiones

De acuerdo con lo que hemos visto en estas páginas, podemos concluir lo siguiente:

1. Si bien en la época virreinal los recursos técnicos de construcción que emplearon no pudieron impedir del todo las catástrofes en los edificios a causa de los terremotos, en la actualidad tampoco podemos vanagloriarnos de haberlo conseguido. Y esto se manifestó no sólo en 1985 con la cantidad de edificios nuevos y aun en construcción que se colapsaron, sino también se muestra ahora en los criterios de restauración de los monumentos históricos, que se han venido aplicando.

2. De la época colonial podemos aprender, si no sus técnicas constructivas, al menos sí su sentido de responsabilidad. En aquel momento nadie se sintió “desdorado” al recibir otras opiniones respecto a sus proyectos y procedimientos constructivos y reconstructivos. Y si, en algún caso así fue, ahí estuvieron las autoridades para normar criterios.

3. Es lamentable, pero podemos afirmar que los sismos de 1985 no causaron tanto daño a los monumentos históricos como la mano del hombre, incluso cuando ha intentado reconstruirlos o restaurarlos. ♦

²⁸ Para conocer los detalles de este asunto, véase: “necesario un proyecto integral en el hallazgo del Arzobispado” en *SEDUE*, México, D.F., año 3, número 25. Martha Fernández: “Protección de la memoria” en *Excélsior*, suplemento cultural “El Búho”, 176, 22 de enero de 1989. Sergio Zaldívar: “Sobre la protección de la memoria” en *Excélsior*, “Foro de Excélsior”, 26 de enero de 1989. Martha Fernández: “Un proyecto de ‘restauración’ para el ex-Arzobispado” en *Excélsior*, suplemento cultural “El Búho”, 180, 19 de febrero de 1989. Manuel Magana Contreras: “Salven al ex Palacio del Arzobispado, demanda el INAH” en *Excélsior*, “Sección Metropolitana”, 18 de abril de 1989.

Abreviaturas

AACdM: Archivo del Ayuntamiento de la ciudad de México, México, D.F.
AGI: Archivo General de Indias. Sevilla, España.
AGN: Archivo General de la Nación. México, D.F.
AN: Archivo General de Notarías. México, D.F.

²⁷ Martha Fernández: “El Archivo de Notarías: ¿el sismo o nosotros?” en *Revista de la Universidad de México*, XLI, 430 (México, noviembre de 1986).

LA DESTRUCCIÓN DE LA ARQUITECTURA EN NUESTRO TIEMPO

Louise Noelle

El siglo se ha significado en el mundo por un ímpetu dentro del ámbito de la construcción, como respuesta al explosivo crecimiento demográfico. Paradójicamente este siglo se ha distinguido, también, por la destrucción de numerosos inmuebles que se han hallado al paso de este crecimiento. Las razones de esta devastación son múltiples, tanto en las obras del pasado como en las actuales, y es preciso analizar sus causas para prevenir las pérdidas en el futuro.

En este sentido México no ha sido una excepción y en la actualidad nos encontramos ante un buen número de destrucciones de nuestro patrimonio cultural arquitectónico. Para hacer frente a este problema, instancias oficiales y privadas han luchado desde finales del siglo XIX en la protección de las obras monumentales, y sus preocupaciones han culminado con la promulgación de la Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas, en 1972. Sin embargo el texto de esta ley, que protege ampliamente el legado prehispánico y colonial, se ocupa poco de las creaciones de nuestro siglo, toda vez que se precisaba, para resguardar una obra, el que su autor hubiese muerto; para subsanar esta dificultad en 1984 se hicieron algunas reformas y adiciones a dicha ley, buscando amparar los ejemplos sobresalientes de la arquitectura contemporánea.

Cabe afirmar que la tardía promulgación de la Ley Federal de Monumentos y Sitios, así como su inadecuación en la protección de las obras del siglo XX, aunadas a la ausencia de una Comisión Nacional de Zonas y Monumentos Artísticos que lleve a cabo la labor de declaratoria de Monumentos, han propiciado las pérdidas que contempla el quehacer arquitectónico actual. Esta falta de defensa oficial ante diversos intereses equívocos ha dejado inermes a quienes han realizado recientemente obras de valor.

Las causas de las destrucciones están en su mayoría ligadas a beneficios económicos particulares y al desconocimiento y desinterés por los valores culturales y artísticos. En este sentido, una falta de educación tanto en usuarios como empresarios, explica la apatía de los primeros y el abuso de los segundos. Así se han destruido edificaciones valiosas para poner en su lugar alguna otra construcción más lucrativa, o simplemente se han deformado con agregados que aumentan su valor comercial, amén de aquellos edificios que desaparecieron en aras de una supuesta reordenación urbana, casi siempre cediendo el paso al automóvil.

También han influido en la destrucción de la arquitectura contemporánea factores externos incontrolables, así como problemas de orden constructivo y técnico. En el primer caso, el de los siniestros de la naturaleza, sismos, ciclones o incendios, poco o nada se puede hacer para impedir su acción devastadora. En especial el sismo de septiembre de 1985 dio al traste con valiosos ejemplos del arte edilicio nacional.

En la segunda circunstancia es posible señalar culpables, tanto por error como por negligencia. Constructores, arquitectos y usuarios son responsables del resultado final de un edificio y su conservación, sin olvidar la importancia insoslayable de la estabilidad de las estructuras. Así, un cálculo estructural deficiente, poca atención al resultado final de un proyecto, acabados de mala calidad y un mantenimiento precario o inexistente, son causas del deterioro de edificios que propician su ruina en caso de siniestros, o su remodelación arbitraria o destrucción en otras ocasiones. Por lo tanto es de fundamental importancia el hacer concientes a los mexicanos de los valores artísticos de su patrimonio arquitectónico, y contar con un organismo oficial bien estructurado que coadyuve en las funciones de protección y conservación de dicho patrimonio.

Hacer una revisión exhaustiva de las destrucciones que ha sufrido nuestra arquitectura contemporánea excedería los límites de esta presentación, por lo cual se examinarán los ejemplos más sobresalientes, indicando las causas del problema, para apuntar las posibles soluciones futuras. Asimismo se anotarán los diversos grados de destrucción que han sufrido ciertos inmuebles, puesto que para este caso los cambios y deformaciones tienen igualmente un saldo negativo.

La primera edificación cuya pérdida hay que lamentar es la de la Granja Sanitaria de Popotla, de José Villagrán García. Este conjunto, perteneciente a la Secretaría de Salubridad es considerado por los historiadores como la primera expresión de la arquitectura contemporánea en México, por lo que es aún más grave la total destrucción de que fue motivo. En este caso, la falta de protección oficial del edificio se conjugó con un afán de "modernización" que resultó en la aniquilación de un edificio tan significativo. La segunda obra realizada por Villagrán, en 1929, para la misma Secretaría, el Hospital de Tuberculosos de Huipulco, corrió con una suerte similar. En este caso, como la funcionalidad del nosocomio era válida, se optó por remodelarlo totalmente, revistien-

do las esbeltas estructuras modernas con un pesado vestido neocolonial, deformando el concepto original de su autor. A esta lista habría que agregar la demolición del Estadio Nacional, obra temprana de este arquitecto, que se llevó a cabo para urbanizar y comercializar el predio que ocupaba.

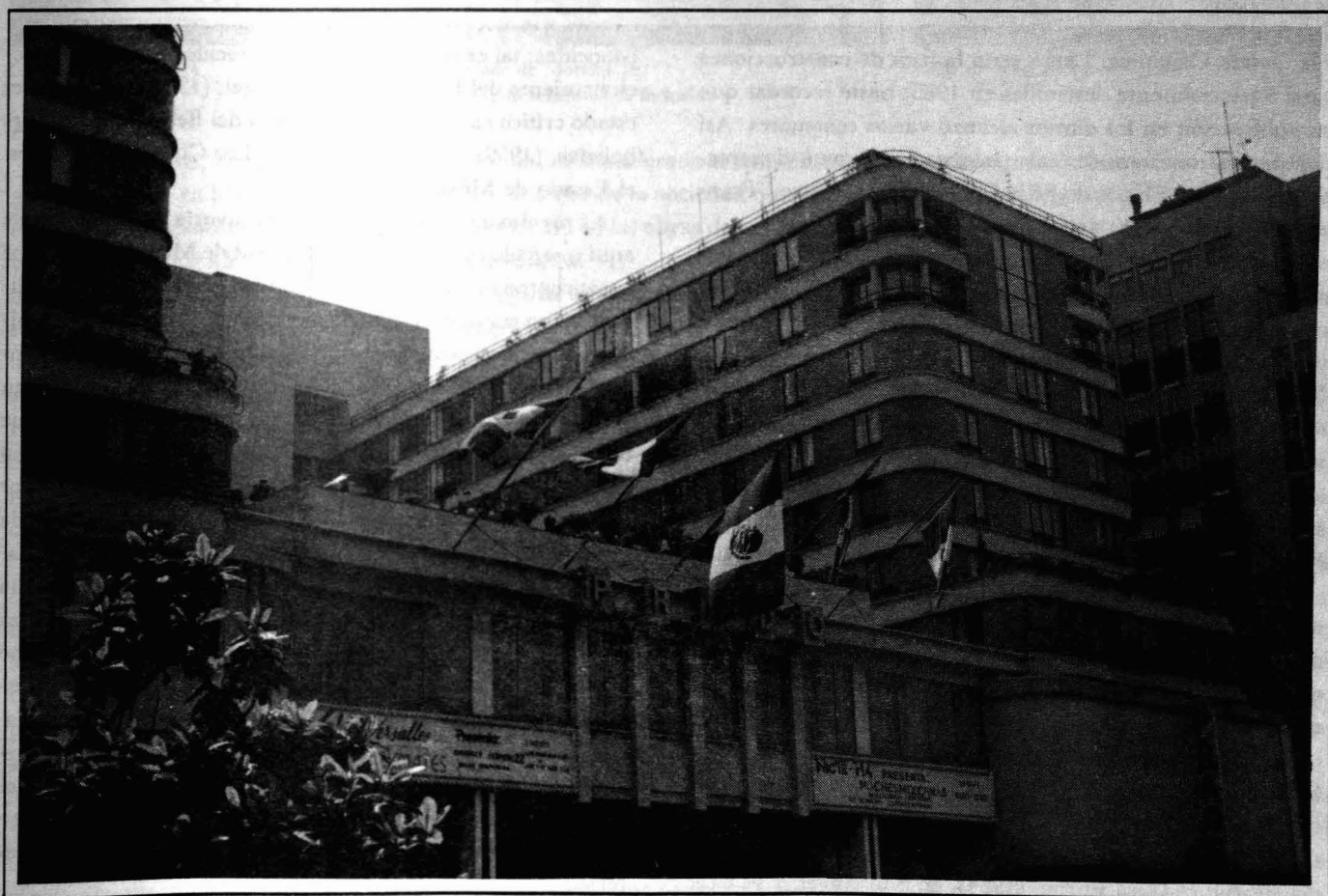
Otro arquitecto que ha sufrido sensibles pérdidas dentro de sus creaciones es Enrique Yáñez, puesto que dos de sus obras, significativas por sus aportes (el Sindicato Mexicano de Electricistas, construido en 1936, y el Centro Hospitalario "La Raza", en 1945), han sido arbitrariamente remodelados; en ambos casos se adujo que era necesario cambiar la fachada, puesto que la falta de mantenimiento las había estropeado, pero con ello se buscaba una falsa actualización de los edificios. Tal vez el caso más lamentable sea el del Centro Médico, edificado en 1960, dañado irreparablemente durante el sismo de 1985, por un uso incorrecto de sus edificios, que se encontraban saturados y sobrecargados. Se perdió en este caso un centro hospitalario de innegable beneficio y un ejemplo notorio del movimiento arquitectónico conocido como integración plástica.

Esto nos lleva a contemplar aquellos ejemplos que se perdieron en diversos sismos, siendo el más grave el de 1985. Recordemos, sin embargo, que en el movimiento telúrico de 1979 se fracturó el edificio de Reaseguros Alianza, (1952), de Enrique del Moral, y se vino abajo la Universidad Iberoamericana, (1962) de Augusto Álvarez, por un problema estructural y de subsuelo. Evidentemente fue en el último sismo en el que más daño sufrió la arquitectura mexicana, en especial en su ciudad capital; es claro que las condiciones de

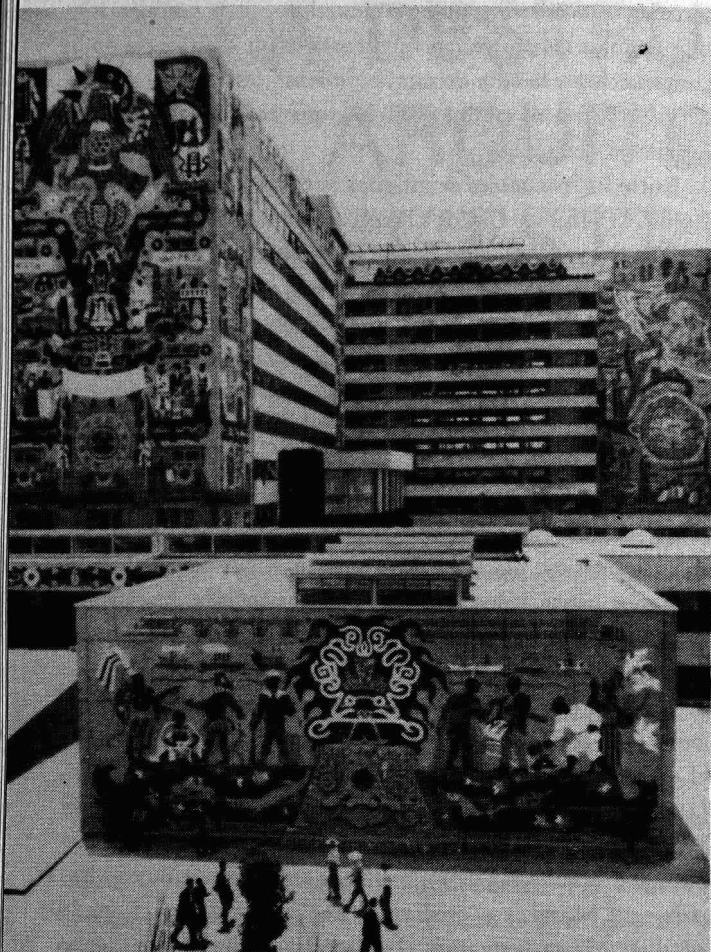
terreno favorecieron este fatal desenlace, pero también hay que apuntar los problemas estructurales, de deficiencia en la construcción y la falta de mantenimiento, así como la sobrecarga excesiva de ciertos edificios, que coadyuvaron al alto índice de derrumbes.

Entre los inmuebles derribados se encuentran el Hotel del Prado, (1946), de Carlos Obregón Santacilia, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, (1954), de Pedro Ramírez Vázquez y Rafael Mijárez, la Tesorería del Distrito Federal, (1963), de Enrique del Moral y el Palacio de Justicia, (1963), de Juan Sordo y José Wiechers, todos ejemplos importantes de nuestra historia edilicia. Un caso más dramático aún, es el del multifamiliar Juárez, (1952), de Mario Pani y Salvador Ortega, dinamitado a escasas semanas del movimiento telúrico para evitar que la institución propietaria tuviese que reacondicionar los edificios que podían reconstruirse; la pérdida se acentúa, puesto que no se tomó el cuidado de salvar, al menos, parte de los relieves de Carlos Mérida, que hacían de este conjunto un ejemplo sobresaliente de integración plástica.

La obra de Mario Pani sufrió especialmente en esta ocasión, pues por falta de mantenimiento en los cimientos, cayó el edificio Nuevo León, de la Unidad Nonoalco-Tlatelolco, (1964); también resultaron muy dañados dos inmuebles del Paseo de la Reforma construidos por él: la Secretaría de Recursos Hidráulicos, (1952), realizado en colaboración con Enrique del Moral, y el cual ya se había visto afectado con la pérdida arbitraria de unas platabandas diseñadas por Carlos Mérida, y un edificio de oficinas, (1950), proyectado con Je-



Hotel del Prado, arquitecto Carlos Obregón Santacilia, 1946. Destruído por el sismo de 1985



Conjunto SCOP. Arquitectos Raúl Cacho, Carlos Lazo y Augusto Pérez Palacios, Murales de Juan O'Gorman y José Chávez Morado, 1954. Estado original

sús García Collantes. Larga sería la lista de construcciones total o parcialmente destruidas en 1985, baste recordar que su publicación en los diarios alcanzó varios centenares. Así desaparecieron obras de realce internacional como el mercado de Jamaica, (1955) de Félix Candela, o el edificio "Fransarq" (1962), de los arquitectos Serrano.

Otros edificios afectados por este sismo, cuyas labores de restauración los ha modificado sensiblemente, son el de Nacional Financiera, (1965), proyectado por Ramón Marcos, y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (1954), de Raúl Cacho, Carlos Lazo y Augusto Pérez Palacios, cuyos murales en mosaico de piedra de colores de Juan O'Gorman y José Chávez Morado se han perdido parcialmente.

El saldo de este siniestro fue muy alto y es necesario para evitar futuros desastres atender a los reglamentos de estructuras, uso y mantenimiento. Sin embargo, hay que apuntar que se trata de fuerzas naturales contra las cuales no se puede luchar, sólo prevenir. No es así en otros casos recientes de destrucción, que han sido casi siempre producto de la negligencia o desinterés del ser humano. En este caso también es larga la lista, de la cual expondremos los casos más notorios.

Han sufrido una destrucción total el primer puerto aéreo, (1936), de Fernando Beltrán y Puga, con la consiguiente pérdida de algunos paneles pintados por Juan O'Gorman, así como dos casas significativas dentro de la obra de Enrique del Moral: la Casa Iturbe, (1944), en San Ángel, y su casa

de vacaciones en Acapulco, (1950). Asimismo fue demolida la Casa Maya, (1942), de Manuel Amabilis, localizada en las calles de Campeche; paradójicamente, el Pabellón Mexicano de la Feria de Sevilla, de 1926, de estilo Neomaya, y que como todo edificio de feria está destinado a desaparecer, está siendo actualmente restaurado por las autoridades de Andalucía.

Uno de los casos más sonados de innovación destructiva es el de la Casa Orgánica de Juan O'Gorman, (1953), en San Jerónimo. En efecto, ésta que fuera una singular creación onírico-surrealista, donde el artista plasmó sus conceptos arquitectónicos, recubriendo el todo con relieves de mosaico de piedra, fue radicalmente transformada en 1970 por su nueva dueña, Helen Escobedo, quien eliminó los murales y desvirtuó totalmente el proyecto. A pesar de diversas protestas, encabezadas por el propio O'Gorman, no se logró detener esta aniquilación. Son muchas las construcciones que son totalmente transformadas por personas u organismos sordos a la conservación de la cultura; entre otros se pueden mencionar el edificio Jardín, (1931) de Francisco Serrano, cuya planta baja, libre de construcciones, fue "rellenada" para obtener mayor espacio rentable, o los edificios de la Lotería Nacional, (1942), excelente muestra del Art Déco de José A. Cuevas, y el de la Asociación Mexicana Automovilística, (1961), de Antonio Attolini, recubiertos con vidrio espejo, lo que deforma el proyecto original.

El descuido y el abandono en que se encuentran la mayoría de las obras de urbanismo del internacionalmente conocido Luis Barragán representan también una vergüenza ante aquellos que han cruzado océanos y fronteras para encontrar que los mexicanos no respetan realizaciones mundialmente conocidas; tal es el caso de los desaparecidos accesos al fraccionamiento del Pedregal de San Ángel, (1950), así como el estado crítico en que están las fuentes del Bebedero, Las Arboledas, (1959), o de Los Amantes, Los Clubes, (1964), en el Estado de México.

Es preciso agregar que si bien la mayoría de los ejemplos aquí reseñados provienen de la Ciudad de México, tanto por la concentración de edificios de calidad en el área metropolitana como por la importancia que en la destrucción han tenido la voracidad económica y los movimientos telúricos, también en diversas entidades del interior de la república se han presentado hechos similares. Baste anotar la deformación que sufrió el Auditorio Jalisco, (1968), en Guadalajara, de Julio de la Peña por problemas estructurales, así como cayó por la piqueta la Casa Azteca (1932), localizada en el centro de la ciudad de Monterrey, durante la creación de la Macroplaza.

Esta breve pero desoladora revisión de los daños que ha sufrido la arquitectura contemporánea mexicana, patentiza el descuido en que se encuentra. La falta de un organismo oficial que se preocupe por defender el arte edilicio de nuestro siglo, así como el descuido y la avaricia de los propietarios, han auspiciado pérdidas irreparables. Es por lo tanto preciso que se tomen cartas en este asunto para que las autoridades protejan este legado cultural y a la vez inculquen en el mexicano el conocimiento de los valores artísticos, propiciando su conservación. ♦

AGONÍAS DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

Manuel González Galván



Calle de Morelos 134



Calle de Morelos 76
Balcón central de la fachada



Calle de Morelos 76

Tal parece que, para su gracia y desgracia, subyace en México el pensamiento mágico religioso del ciclo intenso de vida y muerte que nos viene desde remotos tiempos prehispánicos. Da la impresión de que, entre nosotros, todas las formas que creamos, por grandiosas que sean, no están hechas para permanecer. Este fenómeno es desesperante e inexplicable por más que le busquemos razones religiosas, culturales, políticas, ideológicas o de simple egoísmo mercantilista.

No hemos alcanzado la conciencia de orden moral ni legal que frene este constante y empobrecido hacer y deshacer que fortalezca la identidad nacional, —multifacética— que a base de las constantes pérdidas y mutilaciones, acabará en el anonimato cuando no en un remedo de lo ajeno y extraño.

El hecho tan lamentable que apuntamos, se hace muy perceptible en la herencia arquitectónica y urbana que, con

justeza, es considerada el termómetro de los altibajos de la sociedad que la erige; sobre todo en las obras de resonancia arqueológica.

Quizá este sea uno de los soterrados ingredientes que, como a las antiguas pirámides renovadas cada siglo nuevo, nos hacen creer que destruyendo y transformando, cada cierto tiempo, salvamos nuestro mundo para que pueda sobrevivir. Este hecho es dramático y aparenta girar sobre sí mismo en búsqueda de rostros renovados como que si lo que se desecha hubiera sido una máscara que estorbara o nos impedía ver claro.

Si bien en épocas prehispánicas el asunto es patente, pero no tema de estas líneas, en los siglos virreinales también se manifiesta, como se consigna en documentos escritos, o silenciosa pero elocuentemente, en los monumentos artísticos; estos cambios, aunque fueron lentos, son los que nos permiten identi-

car, aunque sigan un mismo hilo conductor, la personalidad y el carácter expresivo de cada uno de los tres siglos los que, aun sin rupturas violentas, sí fueron haciendo sustituciones y desaires a lo que dejaban atrás, ello se percibe, como un ejemplo, en unos cuantos retablos que sobreviven del siglo XVI, pues la mayoría fueron sustituidos por barrocos que, a su vez, en el curso del avance de sus distintas modalidades se fueron haciendo a un lado los unos a los otros, alegando ya desde entonces ponerse al día usando de la “modernidad” hasta que, finalmente, el implantado neoclásico, con pretensiones de razón estética más sana, los va extirpando sin misericordia, al grado que, al hacer un cálculo más o menos conservador conforme al número de iglesias construidas y de retablos que normalmente tenían, existían en México unos cien mil retablos dorados, se destruyeron no menos de ¡sesenta mil!; es decir, más del cin-

cuenta por ciento y hubo catedrales o grandes parroquias que se despojaron de diez a veinte retablos, a más de su riqueza en alhajas, sobre todo de plata, pues estamos en el país de ella y debido principalmente a saqueos o venta voluntaria. Toda esta pérdida principalmente sucedió al mediar el siglo XIX y favorecida por los cambios de gusto estilístico, por el lado del mismo clero, o perpetrado violentamente por las luchas ideológicas y el liberalismo triunfante.

De tal manera que, si el propio clero por ignorancia y por quererse poner al día con las modas despoja a las iglesias de su antiguo esplendor virreinal, su contraparte, leyes y decretos se empeñan en mostrar su prepotencia destruyendo o transformando el uso de los conventos tanto de frailes como de monjas.

Así se perdieron infinidad de claustros y salieron, o fueron llevados al extranjero, cuando no fueron directamente sacrificados, literalmente miles de pinturas y esculturas que en su dispersión por diversos lugares, generalmente inapropiados, fueron sufriendo degradación y graves deterioros, al grado que ahora, cuando la nación ha superado en buena parte los anacrónicos conflictos ideológicos y políticos, se encuentra frente a un colosal problema de preservación y restauración de estas obras artísticas que son nuestros significativos y quebrantados ancestros.

En cuanto al destino o desaparición de los recintos que originalmente les daban cobijo veamos un hermoso, sentido y comprensivo párrafo de Manuel Ramírez Aparicio quien nos dice en su libro sobre *Los Conventos Suprimidos en México**

Séamos conservadores ó progresistas, en hora buena; pero sepamos serlo á nuestro modo, conforme á nuestras costumbres y á nuestros hábitos, teniendo en cuenta las circunstancias peculiares de nuestra civilización, abandonándonos á las inspiraciones de nuestro genio y sin chocar con nuestro carácter nacional; en una palabra, séamos conservadores o progresistas, pero séamos ante todo mejicanos.

* Manuel Ramírez Aparicio. *Los Conventos suprimidos en México*. Reproducción facsimilar de la primera edición. México, 1861. Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa, S. A., México, 1982, p. 388.

Por no proceder de esta suerte vemos en el día abandonados, desmantelados, casi derruidos los famosos templos del convento de San Francisco, y todo ello sin qué ni para qué.

De los objetos preciosos que contenían, escepto algunos cuadros, nadie dá razón. Su producto, si es que fueron enagenados, estamos casi ciertos de que no ingresó en el tesoro público. Bien es que en cambio habrán quedado muy satisfechos los micos de la revolución francesa, y un tanto cuanto saciada la voracidad de algunos vándalos que se empeñan en cubrirse con la bandera del progreso.

Ahora bien, pasado el fragor de la lucha entre liberales y conservadores, al finalizar el siglo XIX y restablecerse una larga época de paz que llamamos "profiriana" y abarca, como todos sabemos, hasta la primera década del siglo XX, no podemos tampoco negar que fueron años de auge constructivo, aunque estas obras hayan resentido las influencias en boga de los neostilos, principalmente medievales europeos, y que, por un muy no del todo estudiado "afrancesamiento" lo que en realidad se produjo fue una serie de obras eclécticas, muy menospreciadas posteriormente y destruidas en parte por prejuicios políticos pero que ahora empiezan a ser revaloradas y más justamente estudiadas.

Por las fechas antes citadas, especialmente a principios de siglo, se sacrificaron importantes monumentos virreinales y del primer neoclásico, para que cedieran lugar a este tipo de obras, baste con citar un solo caso como fue el de la demolición del barroco y dieciochesco Hospital de Terceros, que en su sitio se levantó el actual edificio de Correos, obra del italiano Adamo Boari, pero... paradójicamente también, son los años de reapreciación del arte novohispano y quíerese que no, tal revaloración se inició, y en cierta forma se cumplió, en plena época porfirista. Para esto hay que remitirse a la tan significativa fecha de 1910, en que el país estaba en auge constructivo ya que, estadísticamente, se erigieron unas seiscientas obras importantes, muchas de ellas ya con intención neocolonialista y algunas de manera consciente y clara; baste citar una de tanta importancia como lo es ¡nada menos! que el Anfiteatro o Paraninfo de la Universidad, así como la ampliación a la Preparatoria Nacional, antiguo colegio jesuita de San Ildefonso. El edificio es obra del arquitecto Samuel Chávez y del ingeniero Manuel Torres Torija; se realizó, justo en 1910, dentro de un neobarroco inspirado por el antiguo colegio, en el que prácticamente se inserta. Se percibe también una intención de integrar, con respeto, la obra nueva a la antigua.

Otro importante documento que nos



La que fue calle de Cruz Ahedo

habla del reaprecio del patrimonio monumental lo constituye el *Álbum de la Independencia* que ofrece en su rojiza pasta y con líneas doradas ¡un diseño barroco!, con dos estípites que lucen, cada uno, un medallón con las fechas de 1810 y 1910 y entre ellos el escudo nacional. Al hojear el *Álbum* se encuentran gran abundancia de ilustraciones en que se da primacía a las obras coloniales existentes en las poblaciones consideradas.

No obstante, el grueso de construcciones neocoloniales que se habrán de levantar son posrevolucionarias. Pero a esta especie de optimismo nacionalista, con visos de ingenuidad, en el que posteriormente profundizan seria y razonablemente numerosos críticos e historiadores, se confirma la certeza de la afirmación creativa nacional. Al mediar el siglo aparece una nueva amenaza destructiva, mucho más difícil de controlar debido a sus características de masiva irrupción irreflexiva y egoístamente económica: el mal llamado "progreso que no se puede detener" y cuyos objetivos mercantilistas se ven hasta cierto punto apoyados y empujados por la explosión demográfica, el excesivo crecimiento urbano y favorecido por el río de vehículos que invaden las calles cuyo margen de monumentos o nobles construcciones estorba y se interpone a su presión y velocidad por lo que, se consideró, había que desecharlos.

El golpe asestado al urbanismo de muchos centros históricos con ampliación de calles, pasos a desnivel y caballerizas mecánicas, o sea los estacionamientos, fue grave, doloroso e irreversible para la historia y el arte, a esto añádase que el común de la población, inconsciente del privilegio de vivir en un sitio donde los siglos han ido acumulando armonía y belleza, prefiere su egoísta comodidad a la herencia comunitaria y ahí están las instalaciones que, si bien útiles y óptimas para la vida contemporánea, aplican indiscriminadamente a ciencia y paciencia las autoridades: postería y alambres, tendedores que banderean sobre las perspectivas de calles, tinacos, trebejos y ahora la plaga de las antenas parabólicas, que es una verdadera insolencia, pues no representan, de ninguna manera, carencia económica, sino lo contrario. Aunque todo esto no es privativo de nuestro medio nacional, pues tiene carácter más fuera de



Las dramáticas y lamentables demoliciones en el curso del año de 1979

frontera, no desdice que no constituyan formas de destruir la dignidad y el "habitat" humano, y que, a la postre, representan la pérdida del aprecio de una herencia estética comunitaria que, al quedar oculta y abrumada, trae como consecuencia la impunidad de su destrucción definitiva, real y efectiva, como está sucediendo en varios de nuestros más apreciados edificios y monumentos de centros históricos que, como el hombre mismo que los creó, pierden su honor y dignidad, y sólo les espera el retiro a la muerte.*

Deformación y pérdidas urbanas

Si en los párrafos que anteceden a este apartado lamentamos el ya secular historial de la destrucción del arte en México, ahora queremos insistir que este hecho no es historia pasada sino presente y vigente, además agravada en su magnitud, pues si ha sido, y es, lamentable la pérdida de obras o monumentos aisla-

dos como fueron los conventos en el siglo pasado, la pintura y la escultura u otros bienes culturales en el pasado y en la actualidad, nuestro siglo dejará el triste recuerdo de la destrucción de ciudades enteras no sólo por las grandes guerras que aquí no las hubo, pero tal parece que hubieran sucedido, sino en su mayor parte por ignorancia o egoísmo mercantilista de los mismos ciudadanos, a lo que se aúna la irresponsabilidad o ineptitud de los profesionistas y la indiferencia, cuando no complicidad, de las autoridades.

En nuestro país el fenómeno se empezó a manifestar gravemente a partir del primer tercio del siglo, atacando especialmente los centros históricos de ciudades importantes.

El proceso fue que estos centros se dejaron al arbitrio de nuestras "garantizadas" libertades individuales por lo que cada quien fue haciendo lo que se le dio la gana, tanto que proliferó la mediocridad constructiva y degradante que ahora ofrece un país donde a una gran parte de sus poblaciones se les considera "feas". Unas cuantas y notables se han conservado más o menos incólumes y hasta últimas fechas se percibe una preocupación oficial seria por su preservación.

En algunos casos como medida o pretexto de dignificación, se echó mano de la "modernización" que no ha sido en la mayoría de los casos sino tan sólo la imitación burda de patrones ajenos y en

* Como nota u observación queremos dejar constancia de que se han hecho esfuerzos legales para que oficialmente se preserve el patrimonio monumental de la nación como son: promulgación de leyes protectoras de sitios y ciudades desde el primer tercio del siglo actual, y en la década de los setentas, de carácter nacional. Pero la experiencia ha demostrado cierta inoperancia de estas reglamentaciones, por lo que hoy día, se hace inaplazable y necesaria, la actualización de leyes e instituciones que resulten apropiadas y efectivas dentro de las circunstancias que vivimos para no perder, dilapidar o deformar, la herencia que recibimos.

los casos más graves se ha dado el arrasamiento o, borrón y cuenta nueva.

Esto es, cuando algún centro histórico ha llegado a un alto nivel de degradación, en lo que se piensa no es en regenerarlo, sino en desaparecerlo y sustituirlo por completo sobretexto de revitalización.

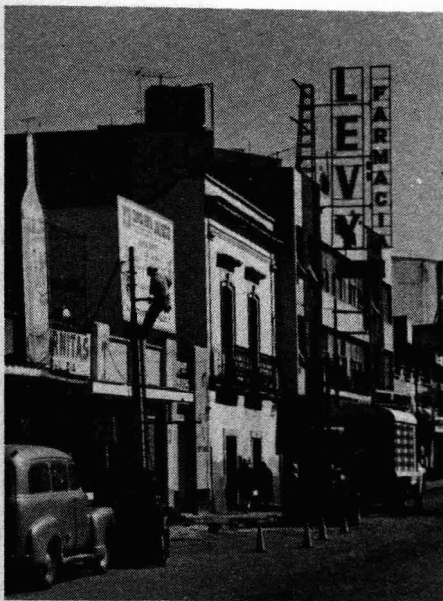
De manera que si a un enfermo se le cura pero no se le mata, entre nosotros, ante el dilema de las poblaciones o centros históricos con problemas de sobrevivencia, hemos aplicado la eutanasia urbana.

Como un sólo ejemplo, quizá el más grave, de lo antes dicho, en toda la nación, mencionaremos brevemente el caso de la Plaza Tapatía de Guadalajara, no con el simple afán de rasgarse las vestiduras ante un hecho consumado, sino como alarma y alerta para que este tipo de atentados urbanos no sigan repitiéndose.*

No se trata, de ninguna manera, de ataques personales a profesionistas o autoridades, aunque estas últimas tengan que ser mencionadas pues bajo su gestión se aprobaron, promovieron y realizaron las obras, sino de la toma de conciencia ciudadana que se debe tener para no seguir dilapidando este patrimonio de la comunidad que es nada menos la ciudad en que se desarrolla.

Pero entonces entremos en materia.

* De lo que aquí se apunta, tenemos una amplia información documental, especialmente fotográfica, levantada por el autor, la que nos proponemos dar a conocer en próxima publicación dedicada específicamente al asunto.



Calle de Dionisio Rodríguez

Entre los años 1948-1950, se elaboró un proyecto muy ambicioso que en sus inicios se llamó *Plaza del Pueblo* y también *Centro Metropolitano*.

Éste se concebía con fines de consolidar y exaltar funciones administrativas y comerciales, lo que implica el orden político y empresarial, lo que no descarta vayan en ello vanidades e intereses personales tanto de autoridades como de profesionistas.

Se pretendía o presentaba el proyecto, ¡supuestamente!, para rescatar o reanimar la zona entre el Teatro Degollado y el Hospicio Cabañas y anotamos la suposición con asombro puesto que si esas hubieran sido las verdaderas intenciones el proyecto debió haber presentado otras

características. La incongruencia se debe a que también, y a su vez, desde un principio se propone la demolición de todas las manzanas involucradas para poder edificar el *Centro Metropolitano*.

La solución legal y financiera se planteó y ejecutó a la vez que complicada, fácil. No hubo expropiaciones; se invitó a los propietarios de predios y edificios a ser consorcios del proyecto, otorgando un porcentaje al gobierno a cambio de la plusvalía.

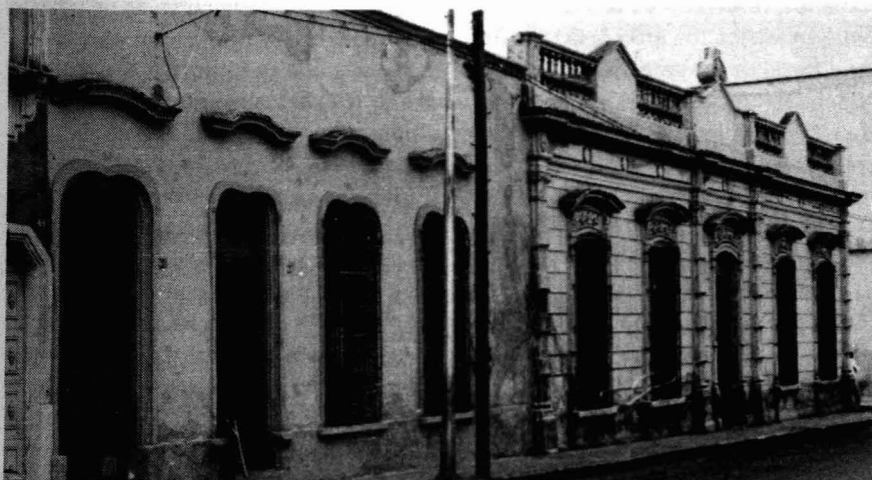
Los dueños de fincas que no aceptaron el plan propuesto vendieron sus predios al gobierno.

La sencilla solución económica impidió que hubiera grandes problemas legales o arbitrariedades de derecho y permitió finalmente la ejecución del proyecto.

En un principio, y por su gran magnitud, el proyecto no estaba del todo afinado, dejándose para el final consideraciones tan importantes como las de alumbrado y áreas verdes.

En cuanto a la composición general sí desde un principio se proyectó que el conjunto tuviera dos ejes, uno ya existente y de hecho el que siempre ha sido el más importante de la ciudad, que corre de oriente a poniente y por el oriente remata justamente en el pórtico del Hospicio Cabañas. Este eje es la calle de Morelos, calle importante en Guadalajara desde su trazo original. Pero por otro lado, se inventó uno nuevo para vertebrar y justificar el nuevo conjunto como unidad urbana independiente pero inserta en la retícula de la traza antigua.





Calle de República números 66 y 86

Naturalmente el eje artificial que apenas va de la parte posterior del teatro a un inacabado edificio comercial, requería y requirió para su existencia, de la demolición de los corazones de manzana ubicadas tras el teatro por lo que, sin miramiento, se las abrió en canal y demolió en su totalidad finalmente, para dar lugar a lo que ahora vemos.

El proceso cronológico para la ejecución de la actual Plaza Tapatía duró muchos años y varios sexenios de gobierno que, si bien en México sabemos que cada nuevo gobernante ignora o por lo menos no prolonga las intenciones del anterior, en este caso urbano sí hubo un continuismo hasta su culminación. Comenzó con la aprobación e impulso al proyecto siendo gobernador el licenciado Francisco Medina Ascencio (1965-1971), durante el gobierno del licenciado Alberto Orozco Romero (1971-1977), hubo un estatus en que, si bien, el proyecto seguía vigente pese a las críticas que ya se hacían estuvo como en suspenso, no suspendido, siendo gobernador el licenciado Flavio Romero de Velazco (1977-1983), se llevó a cabo la demolición de las manzanas y con ello la destrucción de numerosos inmuebles de valor arquitectónico y artístico, por último, durante el gobierno del licenciado Enrique Álvarez del Castillo (1983-1989), se dio por concluido todo, aunque no lo está, pues la placa conmemorativa en bronce así lo reza con grandes letras mayúsculas, lo que transcribimos literalmente:

Plaza Tapatía

Producto de la alianza de los sectores

público y privado para el desarrollo urbano

Puesta en servicio siendo presidente de la República Lic. José López Portillo y
gobernador del estado Lic. Flavio Romero de Velazco, 5 de febrero de 1982.

En aras de la ufanamente presentada y festinada *Plaza*, que ni plaza es, sino una secuencia de explanadas, recesos y andadores, Guadalajara perdió urbanísticamente buena parte de su trazo original, mucho del perfil de su volumetría característica, especialmente el Hospicio Cabañas que si antes destacaba en altísimo rematando una de las perspectivas urbanas más importantes de la ciudad hoy, por efecto de haber puesto el piso de concreto del conjunto a su nivel, parece haberse hundido y además al suprimirse las dos manzanas que le eran próximas y enmarcaban su pórtico, ha quedado acentuada su gran horizontalidad de construcción por lo que literalmente parece no sólo hundido sino embarrado entre los espacios que le rodean.

Una de las pérdidas más lamentables con estos hechos es la debida a la destrucción de numerosas obras de arquitectura civil, en especial del siglo XIX y principios del actual, de éstas fueron no menos de treinta y cuatro, con interés que ameritaba su estudio minucioso, catalogación y hasta declaración de monumentos, de todas ellas tenemos un somero registro y memoria fotográfica que esperamos dar a conocer próximamente.

Sólo escaparon a la matanza, y eso mutilados en su parte posterior, dos ca-

sas ejemplares: la llamada del "Rincón del Diablo" típica casona barroca de la Guadalajara del siglo XVIII que ya había sido casi totalmente demolida pero fue en parte reconstruida; hoy aloja las oficinas del Departamento de Turismo.

El otro ejemplar es una hermosa casa ecléctica fechada en 1897, con gracioso patio de sabor "romántico" donde se encuentra el restaurant La Rinconada.

Como triste contraste a la añoranza de lo que se llevó el despojo, y casi deprimente, es observar las construcciones que vinieron a sustituirle con pretensiones de torpe grandilocuencia, plenas de simulaciones que resultan las estructuras de concreto con disfraces de chapa de cantera que fingen arcadas y muros contruidos con ese material, disfraz que en poco tiempo ya se está desprendiendo dejando escoriaciones por todos los paramentos. Arquitectura que ha sido calificada de tipo "fascista" y que a nosotros nos parece de aspecto carcelario. Edificios que dan la impresión de haber nacido muertos y en poco tiempo ya muestran estado de descomposición, o de destrucción si se quiere y en algunos de ellos antes de ser terminados. Consecuencia de un imprevisto que como dice el refrán, "en el pecado se lleva la penitencia", así ha resultado que en gran porcentaje el conjunto de edificios comerciales es un fracaso.

Añádase que los estacionamientos subterráneos descuidados, sucios y mal vigilados, han devenido en focos de contaminación ambiental y refugio para manifestaciones de lacras sociales de toda índole.

Para terminar, solo añadimos que la intención de estas líneas no sólo ha sido lamentar las pérdidas que ha sufrido el patrimonio artístico, arquitectónico y urbano del país a través ya de siglos, sino mostrar algo de lo que sigue perdiendo a gran escala sin ignorar lo complejo de las causas y circunstancias socio-económicas que esto provoca pero no podemos dejar de considerar y hacer notar tan reales y dramáticas situaciones que se ofrecen como testimonio y advertencia para que en nuestros centros históricos no se repitan semejantes errores puesto que está en juego, en todos aspectos, nada menos que el rostro de la identidad nacional. ♦

LA CIUDADELA ASALTADA

Juan Villoro

Una de las convenciones de la novela rusa del siglo XIX exige que sepamos todo de todos. Cada personaje es portador de un destino singularísimo. Es posible que sólo aparezca para entregar un sobre lacrado pero no hay forma de impedir que el autor le asigne dos apellidos, un apodo y una biografía instantánea en la que figuran la esposa muerta de fiebre puerperal, las hijas pelirrojas y el caballo ceniciento al que besa en las madrugadas. En otras palabras, todo personaje, por nimio que sea, refrenda las inagotables posibilidades de la ficción: la historia surge del derroche de muchas otras historias.

En *Aspectos de la novela* Forster se detiene en este elemento típico de la novela rusa, la ausencia de *personajes planos*. Sergio Pitol (traductor de Chéjov y Pilniak) es un esclavista consumado que se entretiene rompiendo íconos: *El desfile del amor* está narrado bajo la perspectiva de un protagonista plano. En efecto, Miguel del Solar atraviesa el libro sin que nos asombre ni incomode su presencia. Tan sólo sabemos que es historiador, ha enviudado recientemente y vive en Inglaterra; ignoramos sus resortes interiores, sus manías, sus sabores favoritos. No importa: Del Solar es un testigo, plano e insaciable, y su función la misma que Stendhal asigna a la novela: ser "un espejo que se pasea a lo largo de un camino". Héroe sin señas particulares, se comporta como emisario del lector, es un azorado indagador de la trama.

En 1942 Miguel del Solar tenía diez años y pasó unos días en el edificio Minerva, donde vivían sus tíos. En 1973 regresa a México y recuerda un crimen que ocurrió en el edificio. La novela es la pesquisa de un hecho de sangre que parece fugado en el tiempo. ¿Qué mueve a Del Solar? Pitól no alude a componentes psicológicos. El crimen se aviva en la mente del protagonista sin traer evocaciones

proustianas; resolverlo es una operación racional, vale decir, un *afán de lectura*, de llegar al fondo de la trama, que en este caso supone renunciar a la lógica del historiador. "Hacer historia —dice Hermann Hesse— es sumergirse en el caos sin perder la fe en el orden". ¿Qué orden impone el protagonista de Pitól? Ninguno, le gana la novela, es devorado por la trama. En cada capítulo visita a un antiguo inquilino del Minerva y se enfrenta a un preciso teatro de intrigas, falsedades, contradicciones. ¿A quién hacerle caso?, ¿a la histórica y pudibunda Eduvigis Briones de Díaz Zepeda, al bilioso Balmorán, a Delfina Uribe tan exquisita como prepotente, a Emma Werfel, esa masa retórica? El nudo se aprieta a medida que Del Solar tira de los distintos cabos sueltos; cada relator ofrece un distinto ángulo de ataque; a su manera, cada uno tiene razón. Quizá el mayor mérito de Pitól radique en dotar a esta galería de maledicentes de voces propias, distintivas; en sus bocas, toda extravagancia suena verosímil. En franca oposición al protagonista, los personajes visitados capítulo a capítulo son seres llenos de modismos, prejuicios, gustos y repulsas, gestos definitivos.

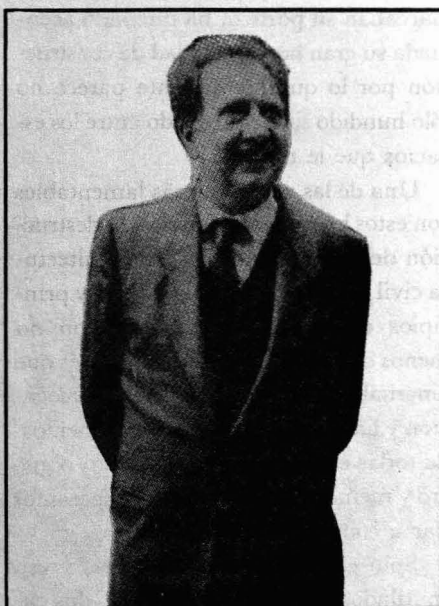
En lo que toca a los escenarios, cada recinto de *El desfile del amor* tiene la poderosa realidad de la ilusión literaria. El Minerva es digno de una novela gótica; la Procuraduría, con su "salita de lectura", no desmerece ante las prefecturas de Gogol; en la covacha del administrador del edificio (que tiene patillas de cochero y una mujer que cose telas color granate) sólo falta el samovar de Dostoyevski. Este uso *novelresco* de los espacios es otra clave de Pitól: los ambientes vagamente irreales hacen la mascarada más creíble;

la lógica se subvierte como en un palacio repentinamente invadido por el agua.

Novela que se discute a sí misma, *El desfile del amor* tiene como protagonista último al lector. Al igual que en *Tristram Shandy* o en *Jacques el fatalista*, las posiciones de la trama exigen una lectura movidiza, abierta, que acepte el desenlace continuamente aplazado como pretexto para que ocurran digresiones. En este sentido, *El desfile del amor* ha sido escrito con la más elevada gratuidad literaria: una historia, si es disfrutable, puede prescindir de cualquier motivación utilitaria, incluso la de tener final. El tema del libro no es otro que el arte de escribir novelas; insaciable especulador literario, Sergio Pitól reactiva así uno de sus recursos favoritos: la malversación de la historia, el dispendio de las posibilidades de la ficción. Para lograrlo se vale de numerosos registros narrativos, alternando los testimonios orales con el informe burocrático, la nota roja, la crónica de sociales, el ensayo erudito y aun el reporte del médico forense.

Novela de opciones múltiples, *El desfile del amor* es el reverso de la novela pedagógica. Miguel del Solar nunca es modificado por los acontecimientos; pertenece a la estirpe de personajes que Michel Tournier llama "ineducables"; sólo que a diferencia de otros que no aprenden, como Julian Sorel o Don Quijote, que se valen de una fe ciega para negar la contundencia de los hechos, Del Solar permanece inalterado porque la historia que indaga se cancela a medida que avanza. La ignorancia final del protagonista es la condición necesaria para desentrañar el sentido profundo de la novela. Sergio Pitól ha practicado un severo corte en un mundo de gazmoñería, donde hay muchas cosas que callar enfrente de las solteras y donde la franqueza es una debilidad moral. Las verdades a medias de los habitantes del Minerva responden a un curioso método de supervivencia: la decencia propia se resalta adelantando la indecencia ajena. Pero además de la crítica ética, consustancial a casi toda su narrativa, Pitól ofrece un afilado sesgo de crítica política.

En su novela *Asesinato*, Vicente Leñero explora el sistema judicial mexicano y llega a una nítida conclusión: nadie sabe nada. Miguel del Solar se enfrenta con una perplejidad semejante a las páginas secuestradas de los archivos, las firmas añadidas, los nombres alterados, los chivos expiatorios. Estamos ante el uso mexicano de una de las variables weberianas de la dominación, el "recurso del expediente". El edificio Minerva se alza como un



Sergio Pitól

monumento al país donde un siniestro siempre es imputable al velador de turno y donde los sistemas de computación se "caen" por imperativos políticos.

Hace unos años Sergio Pitó visitó la finca de campo de Tolstoi. Según refiere en su crónica "La casa de la tribu", nada resulta más difícil en ese sitio que guardar un secreto; las paredes y los corredores han sido dispuestos de manera tal que se sepa todo de todos; es la arquitectura de la novela rusa.

El edificio Minerva, por el contrario, es una ciudadela de rumores y palabras insinuadas, una casa hecha para guardar secretos. Los buenos burgueses que la habitan viven en el temor de que algún día se renten los cuartos de azotea y lleguen los de fuera, los pobres, los oídos, nosotros. Desde *Infierno de todos*. Pitó se arriesgó a ser el inquilino no deseado, a lanzar una mirada oblicua al patio de los demás, a encender de repente la luz del cuarto de azotea. *El desfile del amor* es una prodigiosa indiscreción: lo falso y lo verdadero giran como categorías complementarias, cara y cruz de la moneda inagotable que Sergio Pitó ha puesto en nuestras manos. ♦

UN CORAZÓN ADICTO: LA VIDA DE RAMÓN LÓPEZ VELARDE

CRÓNICA DE UNA EXISTENCIA PRESUROSA

José Francisco Conde Ortega

Una biografía puede ser contada de muchas maneras y, asimismo, suscitar distintos grados de tensión en el lector. Muchas veces, la andadura de la historia del biografiado parece aspirar a las letras de la Historia. Entonces, la suma de anécdotas que confluyen para resaltar los rasgos más notables de determinado personaje parecen buscar la eternidad y adquieren un acartonamiento que aleja al sujeto de la historia de sus lectores. En otras ocasiones, la reunión de hechos intrascendentes tiende a oscurecer la personalidad y la vitalidad de una obra, por lo que la biografía puede quedarse en una relación más o



menos pintoresca, pero igualmente alejada del lector. Otras veces, el registro minucioso de acontecimientos vitales y significativos hace comprensible una vida y una obra que se presienten indisolubles. En consecuencia, el lector se apropia del material y establece un contacto íntimo y entrañable con las páginas que le van revelando los pormenores de una existencia que en sus propios hechos encuentra plena justificación. A este último apartado pertenece *Un corazón adicto: la vida de Ramón López Velarde*, de Guillermo Sheridan.

Un corazón..., en palabras de su autor, aspira a ser una vida antes que una biografía, pues "la biografía aspira a la objetividad documentada, a tomar aliento tanto de la caligrafía como de la radiografía; la vida acepta de entrada que escribir una biografía es imposible y prefiere crear, como quería Marcel Schwob, desde el caos de rasgos humanos que deja tras de sí, como una estela, toda existencia." Por eso el lector puede participar durante la lectura, reconstruyendo y evocando a partir de su propio conocimiento, en la medida en que las páginas van develando un riguroso acopio de información y una creciente capacidad creativa del autor; por eso, también, *Un corazón...* es una obra original.

Los treinta y tres años de vida de Ramón López Velarde, lo breve de su obra en verso y en prosa y su aureola de amante empedernido y castamente licenciado han dado pretexto para una bibliografía que cada vez se hace más extensa. Estudios críticos y anecdóticos, semblanzas y evocaciones, interpretaciones y home-

najes han hecho que su fama permanezca; no así la lectura de su poesía y menos aún la de su prosa. Acaso ése sea el precio de la fama. Ramón López Velarde puede ser recordado por "La suave patria", su catolicismo y su amor por Fuensanta; sin embargo, estas tres circunstancias han ocultado algo muy importante: la complejidad de su espíritu y la pulsación, ya francamente moderna, de su poesía.

Guillermo Sheridan, al proponerse una vida de Ramón López Velarde, ha hecho caso a sus demonios interiores y a su gusto de lector. Por eso la información que maneja nunca oscurece los hechos verdaderamente humanos y en apariencia nimios, pues sabe que la suma de éstos enriquece la comprensión de una existencia. Pero Sheridan también propone una peculiar estructura para contar la vida de López Velarde. Divide su libro en cinco partes y un epílogo; y cada una de las partes tiene una técnica narrativa y una andadura. De acuerdo con las etapas de la vida del poeta de Jerez, Sheridan propone un título *velardeano* a cada capítulo y le da una estructura idónea para ese apartado. De este modo logra que, efectivamente, se sienta el pulso de una vida marcada por la contradicción y la duda, por la poesía y por el amor de las mujeres, por la imperiosa necesidad de vivir "la vida de todos y de todas".

El primer capítulo, "Introito: Un hilo escuálido de seda (1888-1889)", cuenta el primer año de vida del poeta. El padre de Ramón había decidido que su primogénito cumpliera su primer año en la tierra de sus mayores; así, realizan el viaje, en ese año particularmente lluvioso, de Jerez a Paso de Sotos, Jalisco, para que, además, "asistiera a la cantamisa de su tío Inocencio y protagonizara la jamaica que sus cuatro tías solteronas llevaban soñando un año, henchidas de ilusión."

La técnica narrativa de este primer capítulo es peculiar. Guillermo Sheridan da cuenta de la estirpe del autor de *La sangre devota* utilizando como contrapunto el viaje en diligencia, tren y burros. De hecho son dos viajes hacia atrás: hacia la tierra paterna y hacia el árbol genealógico. Este último le sirve a Sheridan para trazar un perfil de las obsesiones posteriores de Ramón: el tío sacerdote, los tíos boticarios flaubertinos, los que vivieron con "sed de amores y de ensueños"; las tías solteronas; la estirpe criolla; su obsesión de morir asfixiado... Es decir, Guillermo Sheridan hace caso a los signos que van a construir un destino.

El segundo capítulo, "Niñez toda olo-

MÉXICO EN EL FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

ALFONSO REYES
ICONOGRAFÍA

Investigación iconográfica, documental
y selección de textos: Xavier Guzmán,
Héctor Perea y Alba C. de Rojo

Alfonso Reyes
• **MEMORIAS DE COCINA Y BODEGA**
• **OBRAS COMPLETAS**
Tomo XXII

Guillermo Sheridan
UN CORAZÓN ADICTO:
LA VIDA DE RAMÓN LÓPEZ VELARDE

Rosario Castellanos
OBRAS
Tomo I

Jaime Sepúlveda Amor, Mario Bronfman,
Guillermo Ruiz Palacios,
Estanislao Stanislawski
y José Luis Valdespino
SIDA, CIENCIA Y SOCIEDAD
EN MÉXICO

Enrique Cárdenas
HISTORIA ECONÓMICA DE MÉXICO

Emilio Cecchi
MÉXICO

Anthony F. Aveni
OBSERVADORES DEL CIELO
EN EL MÉXICO ANTIGUO

Roderic A. Camp
MEMORIAS DE UN POLÍTICO
MEXICANO

Sonia Corcuera de Mancera
ENTRE GULA Y TEMPLANZA

Yolanda Moreno Rivas
ROSTROS DEL NACIONALISMO
EN LA MÚSICA MEXICANA
Un ensayo de interpretación

55 ANIVERSARIO
DEL FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
FERIA DEL LIBRO
PARA LEER EL ROSTRO DE MÉXICO
Del 1º al 30 de septiembre
Museo Franz Mayer

rosa a sacristía (1889-1900)", está construida con cuadros evocadores de una infancia que oscilaba entre los "calosfríos ignotos" y el reposo de las sacristías y las iglesias. Son pequeños cuadros coloridos y esclarecedores, viñetas que recrean su primera sensación de partida y los primeros estremecimientos de su despertar a la vida. Cerca de Susana Jiménez —quien le dice "musiquita por dentro"— y de Fuensanta, ve de cerca el nacimiento de uno de sus hermanos y a las muchachas bañarse en el río: la necesidad de la vida. Siente el abrazo que ya no lo abandonará: el del ánima sola y el de Josefa de los Ríos. Con la sorpresa de sus primeras poluciones nocturnas termina este apartado que continúa ofreciendo señales de una personalidad que en lo complejo iba descubriendo su riqueza.

El capítulo tercero, "Una malicia inerme (1900-1905)", es contado desde la voz de un muerto que conoció perfectamente la niñez del poeta de *Zozobra*. Lo conoció y también a su familia y los pormenores de la muerte de sus miembros; asimismo, describe puntualmente su estancia en el Seminario de Zacatecas y sus inquietudes literarias que son comprendidas por el padre Reveles quien, además de estimularlo, lo anima a dejar el seminario para seguir los "dictados de su corazón". Para estas fechas se empezaba a crear el misterio de Fuensanta y, sobre todo, la dualidad funesta que nunca lo habría de abandonar. Todo centrado en la conversación con el padre Reveles, las largas vigilancias en las puertas amadas, unas medias de popotillo, el pantalón largo y el cambio de voz.

"El metal de nuestra propia voz (1905-1914)" es el título del cuarto apartado. En éste un narrador omnisciente da cuenta de la terminación de López Velarde en el seminario y de sus estudios en Aguascalientes y San Luis; pero también, ya definida su vocación, de sus primeras aventuras literarias y de la bohemia de esos años juveniles. Su adhesión al maderismo, la muerte de su padre y su primera llegada a la ciudad de México —además de los primeros encuentros con el desengaño amoroso— son experiencias que, con las anteriores, van modulando su voz poética hasta el logro de su propio timbre.

El quinto capítulo, "Un corazón de niebla y teología (1914-1921)", es una relación a varias voces. Algunos intelectuales amigos de Ramón —Rafael López, Jesús B. González, Fernández Ledesma y otros— son invitados a asistir a un homenaje que el Gobierno de Zacatecas prepa-

ró algunos años después de la muerte del poeta. El viaje desde la ciudad de México, en un vagón especial, da pie a la reconstrucción de la vida de López Velarde a través de sus poemas y de algunas referencias personales. En el viaje va también el padre Reveles —de incógnito, dadas las circunstancias del anticlericalismo de finales de los años veinte— y un diputado —Güeraca— con pretensiones de poeta. Completan el número de viajeros el doctor de Torre, Nicolás Rangel, Manuel Horta, Ernesto García Cabral y José D. Frías.

Rafael López, Jesús B. González, Fernández Ledesma, el doctor de Torre y el padre Reveles deciden hacer tertulia aparte ante la estulticia del diputado y la solemnidad del encargado del gobierno. Durante el viaje se inicia una búsqueda por los entretelones de los versos del autor de *El son del corazón*. Cada uno de los conversadores conoce ciertos detalles; y todos, la poesía del autor de "El sueño de los guantes negros". El ambiente es de excitación: un misterio se va revelando. El espíritu complejo y contradictorio del poeta va dejando ver en sus poemas sólo aquello que él permitía; sin embargo, la amorosa lectura y la noble trampa del conocimiento mutuo permitía un acercamiento entrañable. El homenaje, al final del viaje, fue como todos los homenajes oficiales: un pretexto para que los políticos brillaran en el escenario. No obstante, la lectura y la conversación había sido provechosa. Y Jesús B. González pudo cumplir el encargo que misteriosa dama —Margarita Quijano— le había hecho antes de salir de la ciudad: una joya en forma de lágrima debía ser depositada en el pozo de la casa de López Velarde: resumen de una vida contradictoria en la que el amor siempre entraba con "pasos advenedizos".

El libro de Guillermo Sheridan demuestra que la investigación no está reñida con la amenidad. Cuenta realmente una vida y además se nota el acopio abundante de bibliografía. Sin embargo, ésta no le estorba al lector; antes bien, le sirve al investigador para crear a partir de hechos documentados, como la altamente emotiva descripción de la muerte del poeta. *Un corazón*... es una vida, una vida presurosa que en la complejidad confirmó la necesidad de que todo material debiera, abrazado, tener "movimientos humanos de esposa". ♦

Guillermo Sheridan. *Un corazón adicto: La vida de Ramón López Velarde*. México, Fondo de Cultura Económica, 1989. 230 pp.

LAS VISIONES DEL HOMBRE INVISIBLE

ENTRE FICCIÓN Y REALIDAD

Roger Colom

They were prepared for scars,
disfigurements, tangible
horrors, but nothing!

H.G. Wells

El hombre invisible no existe. No es sino un objeto cultural. *Las visiones del hombre invisible* de Daniel González Dueñas es un libro en el cual diferentes objetos culturales, todos con un mismo núcleo, el *unseen* basado en la novela de H. G. Wells, son puestos en juego: más que una interpretación es una descripción de las resonancias que dentro del ámbito cultural existen entre estas novelas, cine, dibujos animados, video.

En este ensayo se invisibilizan los límites entre ficción y realidad, la celebración de lo "cultural" precede a la búsqueda de algo "real". Aquí no se explica una metanarrativa, ni se trata de un ensayo sociológico acerca de los significados del hombre invisible en la cultura de Occidente. González Dueñas desenmascara "un oscuro acuerdo": la conspiración contra el hombre invisible. Y de paso critica la *modernidad*, las ontologías de presencia que insisten en borrar toda ausencia, falta, pérdida o quebrantamiento de lo presente. Vez tras vez se revive al hombre invisible para vengarse de él:

Autores, técnicos, actores, no alcanzan a ver el tema elegido y optan por sumergirlo en redobladas nieblas y oscuridades. Es como si algo en especial no quisiera ser visto en el hombre invisible, es como si se acumularan libros sobre un tema para mantener a éste inédito.

El hombre invisible, ser privado y por lo tanto fragmentario, tiene que ser aniquilado para reconstituir el "todo" social del contexto ficticio en el cual es (ex)puesto. Su diferencia de los personajes "visibles" lo hace en realidad visible. Las metáforas visuales, proclaman las críticas feministas, han sido dominantes desde la antigüedad griega en cualquier intento por acercarse al otro, de recuperar la diversidad para la

unidad. La crisis postmoderna y el fracaso ontológico de la vista van mano en mano. El trabajo de González Dueñas implica una crítica de la visualización metafórica, una defensa de los otros sentidos que traen al hombre invisible en contacto consigo mismo y con los personajes que lo rodean, que sirven de medio para leer la vida. Ante el hombre invisible "la cultura visual se destembla súbitamente."

Las visiones del hombre invisible es un libro publicado por una editorial universitaria en la ciudad de México. Esto apunta a dos posiciones irreconciliables: un libro marginal publicado en el centro, lo que hace más obvia la fragmentación cultural e intelectual de nuestro país. Lo celebro no tanto por su rigurosidad sino por su marginalidad en medio de la centralización, punto de convergencia entre un libro y su tema. ♦

BAJO EL DESTELLO LÍQUIDO

LAS FRONTERAS DE LA VOZ

José Homero

Estamos llegando a una crisis y a un fin del dominio de la cadena sintagmática en la escritura. No hay crisis ni ausencia de sentido: hay la abolición de una forma de escribir, de mirar el mundo. Romper con la sintaxis no implica anfibología, tampoco hipérbaton, porque estas nociones de retórica implican supeditar el discurso a un orden, a una expresión única. Romper con la sintaxis nos lleva a abrir una brecha en el sentido, a internarnos en una palabra, una frase, un texto. Sus signos de puntuación son el guión largo, el paréntesis, la llamada a pie de página. Éstas son, creo, tan sólo expresiones de la nueva sintaxis —que implica una nueva semántica. Tengo "claros ejemplos: Gerardo Deniz, —digamos, "Madrigal cuarto" de *Adrede*— Juan Vicente Melo, sobre todo en sus cuentos de *Fin de semana*, que emplea más que nada el paréntesis; José Koser, que utiliza el guión como espacio para precisar un rasgo del objeto, coronar una metáfora; en cuanto al rompimiento del orden sintagmático por medio de la llamada a pie de página está en Macedonio Fernández y en *Mientras cae la noche* el narrador boliviano Renato Prada la usa con fortuna.

Hay otras maneras de romper con la sintaxis de la estructura; con el orden lógico-causal del discurso. Una sería la de Eliot y Pound: yuxtaposición, simultaneísmo. Otra, que ya no sólo yuxtapone estilos o voces intertextuales en el curso del texto, sino que implanta escrituras sincrónicamente, esto es, varias en la misma página; caso de Julián Ríos en *Larva*. Una tercera vía es la resignificación de los componentes de un verso, un párrafo, un capítulo a nivel global. En poesía es el procedimiento —también— de Deniz, de Juan Antonio Masoliver, José Luis Rivas, Arturo Carrera y Roberto Echevarren.

¿Qué ha sucedido aquí? Como ya había anotado no se trata tan sólo de romper con un orden sino —como siempre sucede— construir nuevas coordenadas. Cartografía de Moebius y también poética del *black hole*. Si uno mira a Juan a partir de X y antes de llegar a Y desaparece, ¿prueba esto la desaparición de Juan? No; acaso tan sólo su traslación a una cadena distinta a la tridimensional. Es el principio del célebre experimento Filadelfia y también el de los números transfinitos. Disímiles entre sí, estas poéticas nos enseñan a desconfiar de los nudos, de las frases cardinales. Sí, uno sabe que todo lo que se encuentra entre corchetes, paréntesis y guiones es desviación; pero sin estas desviaciones ¿Juan Vicente Melo sería quien es? ¿Qué si no un discurso de interrupciones, recapitulaciones y recuerdos ocurridos entre los instantes que comprenden encender un cerillo y acercarlo al cigarrillo, es *La obediencia nocturna*? Así como en Juan Vicente el paréntesis es un tic estilístico, ¿acaso al mirar un poema lleno de guiones —y no por tratarse de un discurso dialogado— no pensamos enseguida en Koser? El discurso está catalizado; la cadena sintáctica invadida por hoyos por los que el sentido no se fuga: se desvía, de nuevos sentidos.

Esto sucede porque si bien desaparece la lógica del sentido-causal, no desaparecen los indicios y son estos —que para ciertos teóricos son las anáforas, esto es reiteraciones, y para otros isotopías— los que posibilitan el sentido. Eliot sabía esto muy bien. Para él la lógica de la poesía victoriana era "una lógica de conceptos" y en ésta jugaban un papel fundamental los "eslabones de la cadena", que ayudarían a formar explícitamente el significado. La desviación de la norma implantada por Eliot fue la supresión de esos soportes sintáctico-semánticos. Merced a la "lógica de la imaginación" es que las bruscas transiciones, los tonos disonan-

tes de la poesía eliotiana, no obedecen al caos sino a una lógica más poderosa: la de la afinidad temática.

Un Roland Barthes estructuralista tendió a ver al poema lírico no como un relato sino como una gran metáfora; todo el poema sería así la reconfirmación de una metáfora única. En una poesía como la eliotiana tan deudora, por lo menos en *La tierra baldía* de los recursos narrativos, la ambigüedad de las secuencias torna a éstas en metáforas: la equivalencia se proyecta sobre el tema.

Sé que abuso del espacio y de la paciencia, pero tan largo circunloquio me parecía necesario para hablar de Coral Bracho. Sé que hay algunos jóvenes reseñistas para quienes su poesía o ronda en la ininteligibilidad o está a punto del balbuceo. Creo que toda experiencia con el lenguaje entraña ese peligro. Lo sabía Mallarmé —léanse sus cartas—, lo sabía Cuesta, lo supo Gorostiza. La experiencia poética de Coral Bracho me parece que encierra ese riesgo. Es una poética cuyas metáforas

hablan de la incertidumbre de la referencia; sus metáforas no son la fusión de dos dominios semánticos sino la abolición de la contigüidad, sémica, la irrupción del azar en la jerárquica estructura del sentido; de esa casualidad rectora de los cosmos narrativos de Elizondo, de Melo; casualidad que aquí carece de fatalismos "metafísicos".

La poesía de Coral Bracho nos enfrenta a varios problemas y uno de ellos, el primero y principal es el de la recepción. ¿Cómo leer un texto tan voluptuosamente hermético? El problema radica no en la escritura de Bracho sino en la competencia del lector. Nos hemos acostumbrado a la tiranía de la metáfora, pero de una metáfora a ratos surrealista y a ratos alegórica; una metáfora no de ausencia sino siempre ligada a un referente o un signo explicativo dentro del mismo texto. Esto nos lleva entonces identificar explicativamente con sentido y más aún si sabemos que el texto entabla un diálogo con el mundo cotidiano. Nos olvidamos, con esta acti-

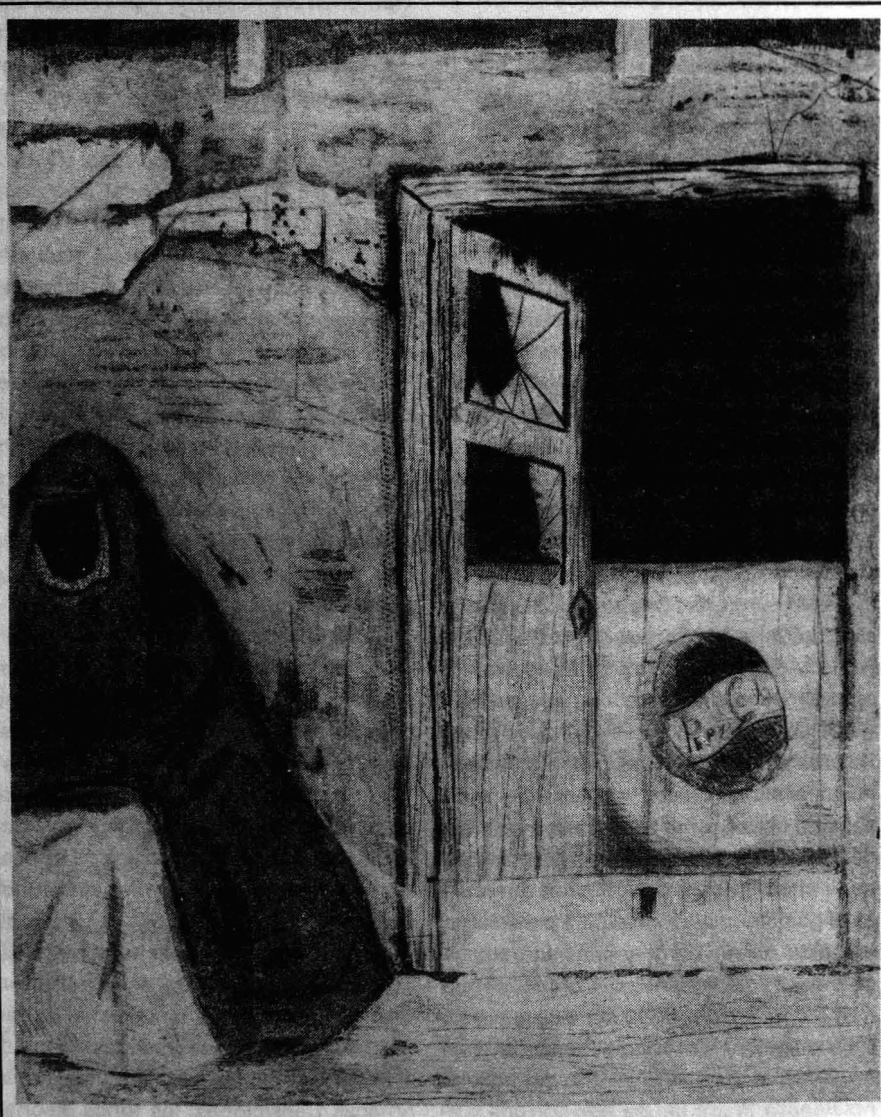
tud, de dos nociones clave de la poética contemporánea: el concepto de extrañamiento, según el cual el efecto estético es producto de la ubicación de un signo en una cadena o un sistema distinto al cotidiano —al referencial con lo que deja de ser un signo para convertirse en símbolo—; y el concepto de que el lenguaje poético se ordena jerárquicamente en torno a la función poética, la cual, a diferencia de la función referencial, se orienta no hacia una exterioridad sino al seno mismo del texto: el discurso poético adquiere valor en sí no *en base a o en referencia a*; y la noción de la ambigüedad esencial de todo texto poético. La poesía se dirige no hacia el exterior sino hacia su propio discurso; siendo la enunciación el único fundamento del sentido y de la significación en el discurso (Kristeva) una poesía no se propondrá una ontología sino una poética.

En Bracho esta poética parte de una asimilación de un discurso teórico: el del posestructuralismo. Bracho sabe que no existe un sentido sino que el lenguaje es un magma donde la significación se encuentra a merced de múltiples y constantes vaivenes de sentido: no hay una teleología porque no hay un significante trascendental, un significado de los significados; hay sí una evaluación total de los componentes lingüísticos. No se privilegia —es un ejemplo—, "el tiempo" como concepto en detrimento de "muerte" como concepto opuesto; estas burdas oposiciones binarias eran propias del *decir* estructuralista, ecos de una dialéctica trasnochada de la que, por cierto, también se burla Deniz, un poeta que, como Bracho, *oculta* no el sentido sino su referencia —aunque Deniz privilegia las metáforas mitológicas y las prosopopeyas.

No hay un centro ni una jerarquía; hay por el contrario un constante choque de ideas y lenguas —como en la posesión demoníaca, como en el amor que pugnan por decirse—; en esta diseminación, en este desbordamiento está la razón de ser de todo lenguaje.

La desconstrucción derrideana, la crítica al logocentrismo, permea la escritura de Bracho. Al no existir jerarquías no hay ni principio ni fin. Lo que nosotros continuamos identificando con sentido es un discurso formado por elementos distintos y difusos, por fragmentos de códigos. De ahí el constante empleo del guión, del paréntesis, del corchete en el plano estilístico; de ahí la confusión sintáctica; de ahí el privilegio de la metáfora y la constante de los predicativos.

Carente de causa, la poesía de Bracho



parte de la inmovilidad, pero su discurso, pese a su intencionalidad por anular referentes y negarse a la ilación, sí posee un movimiento: el de las metáforas. Esta poesía parte del instante o del centro; se busca en el espacio, pero en un territorio interno. El decurso es hacia el interior. Pero a diferencia de sus bases teóricas, Bracho aún posibilita una lectura. "Lo metafórico sólo existe en el interior de las fronteras de la metafísica" decía Heidegger. La poesía de Bracho zarpa de la mirada pero también del ser-estar: unos peces de mármol, un individuo que recuerda. La narrativa busca la indagación en el ser del objeto que se mira o la ruptura cronológica. Al indagar se parte hacia el interior. Las metáforas aparecen así como un torrente, como un cúmulo de descripciones cuyo referente es el propio discurso. Sabe Bracho que el discurso no es una expresión de la realidad sino su constructor: el lenguaje es la base y el reflejo de todo poder de toda *Welstanchauung* las metáforas, como diría Paul De Man, carecen de fundamento; un signo se sustituye por otro. Esto permite que un discurso tan poco narrativo pueda contar con una traslación del sentido. Por una parte se va de la superfi-

cie hacia el núcleo —no en vano hay una marcada jerga biológica—, como si se mirara a través de un microscopio; o del instante hacia la materia del tiempo. Por la otra el sentido no sólo se reduce a una exploración a-sintagmática, fuera de la cadena sintáctica: explora sus límites mediante la proliferación metaférica. Estos tropos no aportan información sino diseminan el sentido. Pero hay una cita de Deleuze y Guattari que resume mejor esto: "El rizoma, como tallo subterráneo. . . tiene, en sí mismo, muy diversas formas: desde su extensión superficial ramificada en todos sentidos, hasta su concreción en bulbos y tubérculos. El deseo es un creador de realidad. . . produce y se mueve mediante rizomas."

Creo sin embargo que en las marcas de esta poesía están los mejores puntos para emprender su lectura: el erotismo, las constantes de la voz, la semilla, el agua y sus creaciones, el fuego y las praderas nos llevan a un estado mágmico, primordial. Bracho busca el origen, la causa inicial de las causas; por eso va al agua, por eso llega al núcleo de los objetos.

Poesía intemporal o de una temporalidad difusa, su escritura no nace por ge-

neración espontánea. Su movilidad en lo inmóvil y su indagación en las capas microscópicas tiene su antecedente en *Muerte sin fin* de José Gorostiza, en las *Elegías romanas* de González Rojo, en *El canto a un dios mineral* de Jorge Cuesta, en el *Segundo sueño* de Ortiz de Montellano y su exploración metafórico-sintáctica en los lindes del verso halla su correspondencia en las aventuras lingüísticas de David Huerta y Marcelo Uribe en quienes la teoría de la desconstrucción ha dejado también una huella indeleble.

Leamos a Coral Bracho desprejuiciadamente; atendiendo a las propias leyes del discurso no exigiéndole que se amolde a nuestras estructuras prejuiciadas, pues esta poesía, de exploración de los orígenes, es también una poesía de asombros, de voz nueva, de nacimiento: una poética que exige un tipo de lector muy distinto al pusilánime y conformista lector posmoderno, para quien el regreso a la tradición, el *back-lash* acrítico es un eco de los convencionalismos hoy tan —de nuevo— en auge. ♦

Coral Bracho. *Bajo el destello líquido (Poesía 1977-1981)*. México, Fondo de Cultura Económica, 1988, 87 pp.

Universidad de México

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**Literatura • política
música • teatro • cine**

**Cultura
como recreación humana**

**Cultura
como expresión universitaria**

**Cultura
como opción democrática**

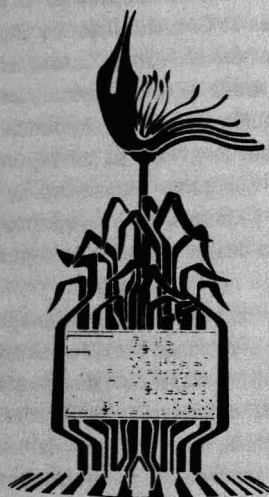
Edificio Anexo de la antigua Facultad de Ciencias Políticas y Sociales Primer Piso Ciudad Universitaria.
Apartado Postal 70288, C. P. 04510, México, D. F. Tel. 550-55-59 y 548-43-52

AVISO AL LECTOR

En relación con mi artículo *La destrucción del arte prehispánico a través del tiempo*, publicado en el volumen XLIV, número 462, del mes de julio de 1989, conviene aclarar lo siguiente: mientras el dicho artículo estaba en prensa, tuve la oportunidad de visitar, una vez más, el Parque Museo La Venta en Villahermosa, Tabasco. Me admiró la calidad de excelencia en su limpieza y mantenimiento; ello se debe, de modo principal, a los esfuerzos del licenciado Carlos Sebastián Hernández, tanto el cuidado de las esculturas monumentales olmecas, como la restauración de la ecología del lugar. En los monumentos olmecas se advierte el esmero puesto en su conservación ya que según palabras del licenciado Hernández, no se ha suspendido desde 1986; también se ha colocado un material aislante entre la base del monumento de piedra y el suelo. Cabe señalar que, aunque reconozco el mérito en el cuidado puesto para que el Parque Museo de La Venta luzca su riqueza artística y arqueológica y a la vez muestre el entorno natural de la fauna y flora local, no comparto la opinión de que los monumentos estén a la intemperie. ♦

Dra. Beatriz de la Fuente

CONVOCATORIA



DEL 6 AL 19 DE NOVIEMBRE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES
COORDINACIÓN DE DIVULGACIÓN CULTURAL
DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO EDITORIAL

La Coordinación de Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Dirección General de Fomento Editorial, invitan a todas las casas editoriales del país a participar en la 7a. FERIA NACIONAL DEL LIBRO EN LA UNAM, que se llevará a cabo del 6 al 19 de noviembre del presente año en el Museo Universitario de Ciencias y Artes, en la ciudad universitaria.

BASES:

1. Podrán participar como expositores las casas editoriales y las instituciones públicas o privadas, de manera directa o a través de representantes debidamente autorizados.
2. La fecha límite para la presentación de las solicitudes es el día 30 de agosto de 1989.
3. Toda participación se ajustará al reglamento de la Feria.
4. La prioridad en la selección de los espacios se determinará de acuerdo con el orden de recepción del pago de derecho a participar.
5. El horario para el público será de lunes a viernes de 10:00 a 19:00 horas, sábado y domingo de 11:00 a 18:00 horas.

Para mayor información dirigirse a: 7a. FERIA NACIONAL DEL LIBRO EN LA UNAM. Dirección General de Fomento Editorial, Av. del Imán No. 5, CP. 04510, ciudad universitaria, teléfonos: 550-74-73 o 655-65-11 Ext. 7741, con el Lic. Germán Bautista; o a las oficinas de información y documentación en el anexo de la Librería Central, en la zona comercial de ciudad universitaria, costado sur de la Torre de Rectoría.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D. F. 1 de Julio de 1989

El Director General de Fomento Editorial
M. en C. Arturo Velázquez Jiménez



LOS UNIVERSITARIOS

ISSN 0185-4143
SERGIO GARCÍA RAMÍREZ
BICENTENARIO DE LA REVOLUCIÓN FRANCESA



PACHECO POR LEÑERO



POEMAS DE TOMÁS SEGOVIA, ANTONIO CISNEROS Y TEDI LÓPEZ MILLS

CARTELERIA
TERCERA ÉPOCA



CHRISTOPHER DOMÍNGUEZ: MAESTROS MODERNOS



FESTIVAL DE JAZZ EN LA UNAM



ENTREVISTA A RUY PÉREZ TAMAYO
AGOSTO 1989

* Vuelta

MILAN KUNDERA

El arte de la novela

VUELTA

"una meditación sobre el oficio del novelista que no intenta construir una teoría y se despliega en cambio, a la vez fiel y aventurera, sobre el terreno de la experiencia misma, como la reflexión de un autor preocupado por el sentido de su tarea."
A. Asiain

Editorial Vuelta S.A. de C.V.
Av. Contreras 516, 3er piso, Col. San Jerónimo Lídice
10200 México D.F.

De venta en librerías, Sanborn's, Vips, Librerías de Cristal

MEXICO



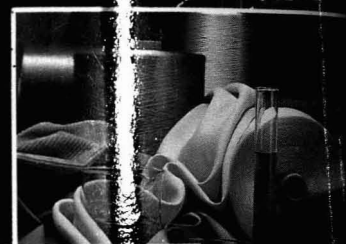
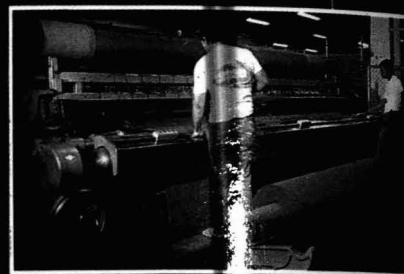
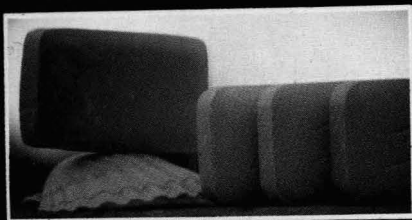
EN EL ARTE

REVISTA TRIMESTRAL

Consejo Nacional
para la
Cultura y las Artes



PEMEX AVANZA....



EN TODOS SENTIDOS

Para apoyar a la economía nacional...

En el quinquenio 1983-1987, México se colocó en el undécimo lugar mundial por su capacidad de refinación al elaborar 2 mil 450 millones de productos petrolíferos, de los cuales exportó la cifra récord de 198 millones de barriles por un valor de 4 mil 900 millones de dólares.

En la moderna petroquímica...

Produce derivados que son base para cientos de productos que permiten disfrutar más y mejor la vida cotidiana... Los productos del petróleo están en los alimentos, la moda, la música, la televisión, la higiene, la salud, el transporte... PEMEX está con nosotros.

¡Cuidar el petróleo es básico para vivir mejor!



PEMEX

ORGULLO Y FORTALEZA DE MEXICO