



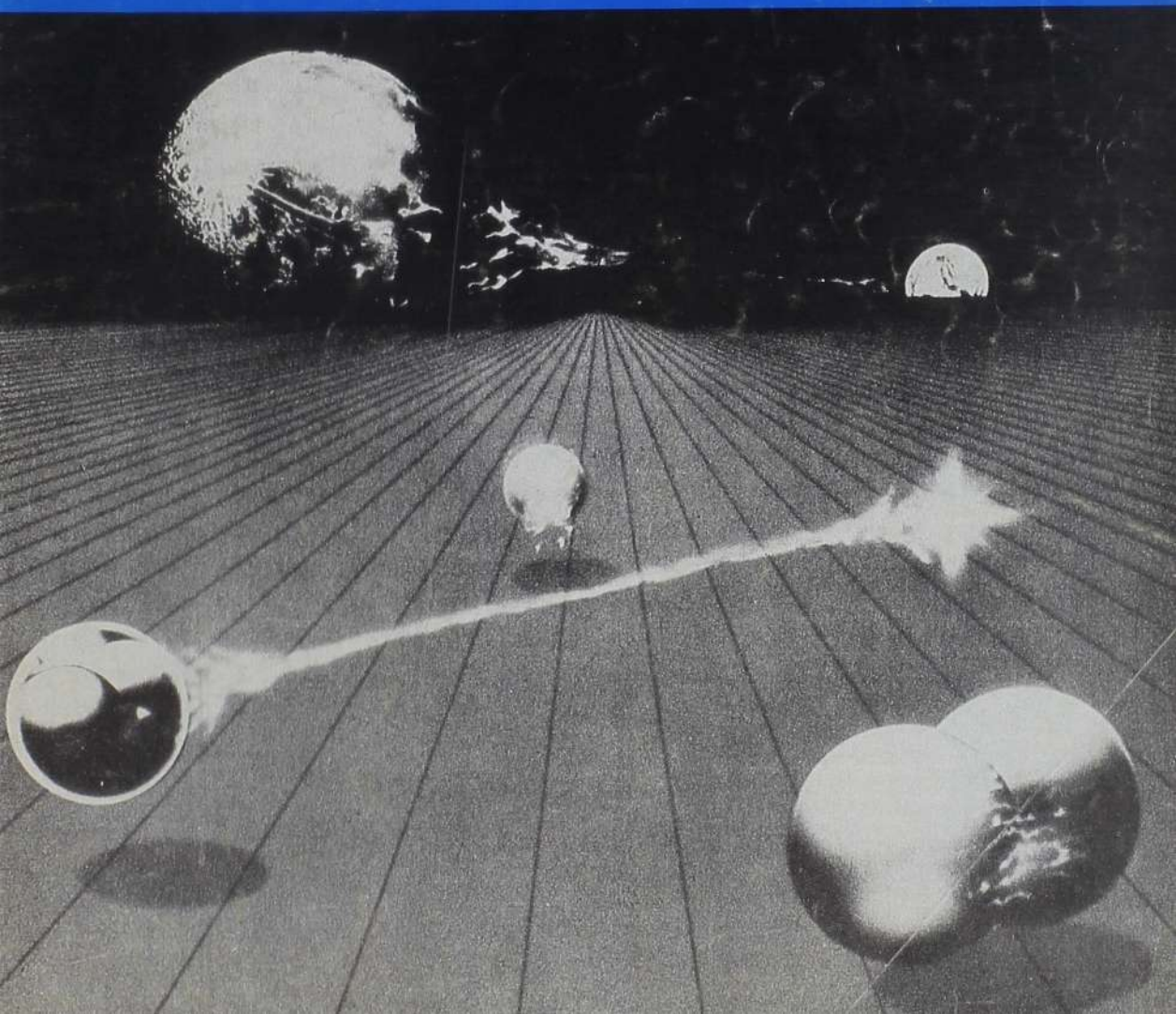
AVANCE Y PERSPECTIVA

núm. 32 Otoño 1987

México ISSN 0185-1411

Hacia un Modelo de Quarks • Una mística de la Física

**Premios nacionales e internacionales
a nuestros investigadores**



MAESTRIA Y DOCTORADO EN FISICA



Departamento de Física del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del I.P.N.
Áreas de investigación:
Física de Altas Energías del Estado Sólido, (Teórica y Experimental), Nuclear, Mecánica Estadística, Relatividad General, Biofísica de Proteínas.

REQUISITOS DE ADMISION

Haber concluido el ciclo profesional en alguna de las carreras de Física, Ingeniería, Química o Matemáticas o ser estudiante del último año en alguna de estas carreras.

Aprobar un examen de Admisión o cuatro cursos propedéuticos sobre Mecánica Clásica, Electromagnetismo, Termodinámica y Métodos Matemáticos que se ofrecerán dos veces en 1988 de acuerdo con el siguiente calendario:

PRIMAVERA

Examen de Admisión
8 — 9 febrero

Cursos
Propedéuticos
11 febrero — 27 mayo

VERANO

(Escuela Nacional Propedéutica)
Examen de Admisión.
13 — 14 junio

Cursos
Propedéuticos
15 junio — 19 agosto

Para ser admitido a los cursos propedéuticos es necesario presentar el Examen de Admisión.

REQUISITOS DE ADMISION PARA DOCTORADO

Presentación de un examen predoctoral.

BECAS

A los candidatos se les apoyará en el trámite de becas ante el CONACYT, ANUIES, SEP, etc.

Para mayor información dirigirse a:

Coordinador de Admisión
Departamento de Física
CINVESTAV
Apdo. Postal 14-740
DELEG. GUSTAVO A. MADERO
07000 Mexico, D.F.
Tel. 754-02-00, Exts. 195 y 196
754-68-01

Rodrigo Huerta
Quintanilla
Hacia un Modelo de
quarks

pág. 3

Mauro Napsuciale
Mendiivil
y
Rodrigo
Huerta Quintanilla
Estudio del Modelo
de quarks en el
Departamento de
Física del Cinvestav

pág. 11



noticias del centro

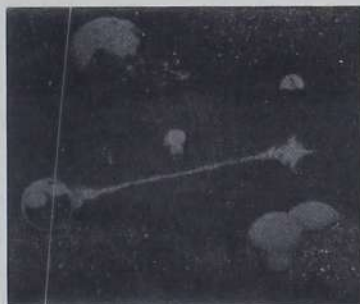
pág. 21

Relación de nuevos
proyectos que
cuentan con
financiamiento
adicional externo
Octubre-noviembre
87

pág. 24

bibl.
Area
Biologica

sumario



Michael Freeman

Aquí se ilustran las cuatro fuerzas fundamentales del universo. En la parte inferior derecha, la interacción fuerte mantiene unidas las partículas nucleares. La fuerza electromagnética permite que el protón de la izquierda y el electrón de la derecha interactúen. La fuerza débil contribuye a la desintegración radiactiva, al centro. En el horizonte, la fuerza de gravedad atrae dos cuerpos conocidos de tamaño planetario.



matrices



Eugenio Frixione
Epílogo

pág. 26



libros



Rober P. Crease y
Charles C. Mann
Una mística de la
Física

pág. 31

Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
Cinvestav

Director Dr. Héctor O. Nava Jaimes

Editor Dr. Enrique Campesino Romeo
Editor asistente Carlos Chimal

Fotografía Agustín Estrada

Certificado de licitud 1728 y certificado de licitud de contenido 1001, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 705-82 de la Comisión General de Derechos de autor. Avance y Perspectiva, publicación cuatrimestral editada por la Secretaría Académica del CINVESTAV, Av. I.P.N. No. 2508, esq. Calz. Ticomán. Apartado Postal 14-740, 07000 México, D.F. Los artículos firmados son responsabilidad del autor.

Tipografía:

Ediciones Delegraf S.A., Cerro del Agua 161, Col. Romero de Terreros, México, D.F.

Formación:

Alejandro Estrella, Daniel Morán y José Luis Rivera Rojas.

Negativos, impresión y encuadernación: Litoarte, S.A. Ferrocarril de Cuernavaca 683, Col. Ampliación Granada.



Señor editor:

Por este conducto deseo expresarle que su excelente revista representa para nosotros una importante fuente informativa e incrementa nuestro acervo bibliográfico. Esperamos, pues, seguir recibiendo tan interesante revista y aprovechar la oportunidad para manifestarle un cordial saludo y las seguridades de nuestra distinguida consideración.

Atentamente

Ing. José A. Lizarraga Díaz
Director

Centro de Estudios Tecnológicos
del Mar en Mazatlán, Sin.
Carretera Internacional Sur
Urias. Estero "La Sirena"
Apdo. Postal 655



Señor editor:

Por medio del presente, me permito felicitarle por la publicación de la revista que el Cinvestav edita tan atinadamente, ya que es un valioso elemento de consulta. Asimismo, aprovecho la oportunidad para solicitarle que nos siga distinguiendo con la entrega periódica de dicha revista.

No dudando en vernos favorecidos con nuestra petición, nos es grato brindar a usted nuestra más alta consideración.

Atentamente

"La técnica al servicio de la Patria"
Dr. José Enrique Villa Rivera
Jefe de la División de Investigación
Tecnológica y Científica
Dirección de Estudios de Posgrado
e Investigación
Instituto Politécnico Nacional



Señor editor:

Debido a mi labor como biblioteca, debo estar atenta a todas las publicaciones que se producen para beneficio de mi institución, pero me ha llamado especialmente la atención *Avance y Perspectiva*, pues considero que por la calidad de los investigadores que publican es una revista de sumo interés para nuestra comunidad. Por ello desearía seguir recibiendo sin falta.

Muy atentamente,

Lic. Nora E. Acevedo de Muela
Directora de la Biblioteca
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Unidad Tampico, Cd. Madero, Tam.
Apartado Postal 58-A

IV PROGRAMA DE INTERCAMBIO MEXICO-CUBA 1988-1989

EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CONVOCA

a centros de investigación, instituciones de educación superior, entidades gubernamentales y empresas de los sectores público, privado y social, a presentar candidatos dentro de este programa de intercambio, para realizar en Cuba estudios de maestría y especialización de alto nivel en las siguientes áreas:

AGROPECUARIAS

- Cítricos
- Producción lechera

SALUD

- Instrumentación biomédica
- Medicina del trabajo
- Medicina preventiva
- Medicina tropical
- Ortopedia
- Salud pública

PESCA

- Acuicultura
- Captura

ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

- Agroindustria
- Biotecnología
- Conservación de granos
- Envases y embalajes
- Productos lácteos
- Tecnología de alimentos

INDUSTRIA

- Metalmeccánica
- Reconstrucción de activos fijos
- Metrología

CONDICIONES GENERALES

1. El candidato debe:
 - a) Ser mexicano, menor de 35 años y haber obtenido una licenciatura en México, en un área afín a la solicitada.
 - b) Entregar una carta de la institución proponente donde ésta exprese:
 - Su interés por la formación del candidato y el compromiso existente con el mismo para incorporarlo al término de sus estudios.
 - La orientación de los estudios a realizar, señalando la importancia de éstos para el país y la necesidad de dicho entrenamiento para la institución.
 - c) Presentar una solicitud de beca del CONACYT con la documentación completa, todo por duplicado.
2. La fecha límite para entrega de solicitudes y documentación es el 8 de abril de 1988.
3. Las solicitudes serán evaluadas por un comité de especialistas que se reunirá para tal efecto.
4. Los becarios saldrán a Cuba a partir de enero de 1989.
5. El CONACYT otorga beca-crédito para:
 - Transporte aéreo viaje redondo, clase turista para el becario.
 - El gobierno de Cuba otorga:
 - Gastos de alimentación y hospedaje, exclusivamente para el becario.
 - Costo de los estudios.
 - Transporte interno asociado al programa de estudios.
 - Seguro médico exclusivamente para el becario.

Los formularios pueden obtenerse y entregarse en:

Consejo Nacional de Ciencia y tecnología

Dirección Adjunta de
Formación de Recursos Humanos
Dirección de Orientación
Círculo Cultural Universitario
Ciudad Universitaria, Coyoacán
04515 México, D.F.

Delegaciones CONACYT

Monterrey, N.L.
Gómez Palacio, Dgo.
Guadalajara, Jal.
Mérida, Yuc.
Mexicali, B.C.N.
La Paz, B.C.S.
Saltillo, Coah.
Chihuahua, Chih.
Morelia, Mich.
Cuernavaca, Mor.
Culiacán, Sin.

Hermosillo, Son.
Cd. Victoria, Tamps.
Durango, Dgo.
Querétaro, Qro.
San Luis Potosí, S.L.P.
Oaxaca, Oax.
Zacatecas, Zac.
Puebla, Pue.
Guajuato, Gto.

Unidades CONACYT

Los Mochis, Sin.

Hacia un Modelo de Quarks

Rodrigo Huerta

En la historia de la física del siglo veinte hemos asistido a varias etapas del "atomismo". Primero, el núcleo atómico descubierto por Rutherford a principios de este siglo. Después fueron descubiertos los constituyentes del núcleo atómico: protones y neutrones. Más tarde se confirmó la existencia de los quarks, que son los constituyentes de los protones y neutrones. Como se verá posteriormente, hay bastantes indicios de que los quarks son puntuales, como los electrones, y por lo tanto verdaderas partículas fundamentales. Cabe hacer notar que existen teorías y modelos actuales que suponen la existencia de una sustancia que compone a los quarks. Solamente el experimento, como en los casos anteriores, podrá decidir la forma en que la materia está compuesta.

Puede establecerse el inicio de la física de altas energías a principios de los años 60. Antes era física nuclear. En 1962, había ya 685 practicantes de la física de partículas elementales en Europa y 850 en Estados Unidos. Durante esta época se reconocían cuatro interacciones fundamentales en la naturaleza, conocidas por orden decreciente en intensidad, como la fuerte, electromagnética, débil y gravitacional. La fuerte es responsable de mantener protones y neutrones unidos en el núcleo. La electromagnética, de mantener unidos los electrones en el átomo y es 100 veces más débil que la

Los biólogos que estudian los reinos animal o vegetal emplean un sistema de clasificación que distribuye las cientos de miles de especies en diversos grupos, clases y familias, según criterios generalmente aceptados. Si no hubiera sido por el esclarecimiento que Carl von Linné (Linneo) hizo de este

Buena parte del material contenido en el presente artículo fue extraído de A. Pickering, *Constructing Quarks*, Edinburgh University Press. Las notas al margen provienen de Yuval Ne'eman y Yoram Kirsh, *The Particle Hunters*, Cambridge University Press, N.Y., 1986.

sistema en el siglo XVIII, Darwin no hubiera estado en posibilidades de concebir la teoría de la evolución y los biólogos hubieran encontrado enormes dificultades para hacer investigación y comunicar sus hallazgos a sus colegas. Si bien el número de las partículas que se han encontrado no se compara con el número de especies vivas, el panorama en esta etapa puede parecer un poco confuso para el lego.

Sin duda los físicos que comenzaron a descubrir una tras otra las partículas elementales se sentían igual. Por tanto, era para ellos esencial contar con un sistema de clasificación. Cuando separamos las partículas en diversas categorías, no sólo el panorama general se aclara, sino que las leyes físicas que gobiernan este mundo se hacen más patentes. Uno de los criterios importantes para una clasificación precisa es el tipo de fuerzas que afectan a una determinada partícula. Estas fuerzas producen toda la variedad, cambio y belleza en el universo. Sin ellas no habría atracción ni repulsión. Los cuerpos no chocarían ni tendrían ningún efecto de ninguna clase entre ellos. Simplemente se atravesarían.

En física clásica, una fuerza se define como algo capaz de afectar el movimiento de un cuerpo (por ejemplo, impidiendo su movimiento, acelerándolo o retardándolo, cambiando su dirección, etc.) o de modificar su forma. En física de partículas fuerza es la causa de todo cambio, reacción, creación y desintegración. Cuando dos partículas chocan, dando como resultado la creación de nuevas partículas, la responsable es una fuerza determinada. Cuando una partícula decae espontáneamente en otras partículas, puede considerarse que la fuerza responsable actúa entre la partícula original y los productos de su decaimiento (a pesar de que tales productos no existen antes del decaimiento de la partícula original, y cuando aparecen, la partícula original ya no existe). Debido a que los papeles que desempeñan las fuerzas en la física de partículas es muy distinto al que se les atribuye tradicionalmente, los físicos pre-

fuerte. La débil interviene en ciertos procesos radiativos y en el balance energético del Sol. Es 10^5 (100,000) veces más débil que la fuerte. Por último, la interacción gravitacional, por todos nosotros conocida, que es 10^{38} veces más débil que la fuerte.

Las partículas se clasificaban de acuerdo con estas interacciones. Es decir, si las partículas interactuaban fuertemente, entonces eran llamadas **hadrones**. Si eran inmunes a la interacción fuerte, entonces se les llamaba **leptones**. El cuadro empezó a cambiar en 1964 cuando se pensó en la posibilidad de que los hadrones, tales como el protón y el neutrón, fueran partículas compuestas por entidades llamadas quarks. A diferencia de los hadrones, los leptones no han cambiado su estatus ontológico, es decir, aún son considerados hoy en día como fundamentales. En un comienzo se dudaba de la existencia de los quarks debido a que no se observaban en el laboratorio partículas que tuvieran las propiedades que se le asignaban a ellos (como la de tener carga fraccionaria). Sin embargo, como veremos a lo largo de este relato, mediante experimentos realizados en varios laboratorios se fue esclareciendo la imagen que de los quarks se tenía y finalmente todas sus propiedades fueron descubiertas.



El físico Murray Gell-Mann obtuvo el Premio Nobel en 1969.

1969 Christopher Springmann

En 1964, Murray Gell-Mann, en el California Institute of Technology (Caltech), publicó un artículo bajo el nombre de "A schematic Model of Baryons and Mesons". [Los hadrones se dividen en dos tipos de partículas. Los bariones y los mesones. Los primeros tienen espín semientero y por lo tanto son fermiones, mientras que los segundos tienen espín entero y son, por esta razón, bosones.] En este artículo Gell-Mann propone la posibilidad de explicar el conjunto de hadrones (bariones y mesones) observado experimentalmente, en términos de constituyentes que él llamó quarks*. Gell-Mann basó su hipótesis en los resultados de la teoría de grupo, es decir, suponiendo que los tres quarks u, d y s, forman un triplete fundamental del grupo SU(3). [u = up, d = down y s = strange].

* Este caprichoso nombre, tomado de la novela de James Joyce, *Finnegans Wake*, no tiene significado en inglés ni tampoco en español, pero en alemán quiere decir "queso líquido".

fieren referirse a ellas como las cuatro interacciones básicas, en vez de las cuatro fuerzas básicas.

Una interacción se puede describir como una acción mutua o influencia entre dos o más partículas. El decaimiento de una partícula en otras también se considera una interacción, ya que tal proceso puede ser visto como un suceso que involucra a la partícula original y sus productos. Se ha encontrado que cualquier proceso en el que se crean o destruyen partículas puede ser considerado, al menos aproximativamente, como resultado de la acción de una sola fuerza básica. Esto es así porque las intensidades de las diversas fuerzas son muy distintas. Por ejemplo, si una colisión entre las partículas A y B crea las partículas C y D: $A + B \rightarrow C + D$; y si el proceso puede llevarse a cabo debido a la acción de la fuerza fuerte, entonces la fuerza electromagnética, mucho más débil, no afectará sustancialmente el proceso, y podemos calificar dicho proceso como una interacción fuerte. De igual manera, el decaimiento espontáneo de una partícula también puede ser considerado como un proceso inducido por una sola fuerza básica.

Algunas partículas son influidas por todas las fuerzas, mientras que otras sólo son afectadas por algunas de ellas. A fin de que tenga lugar determinado proceso entre dos partículas, ambas deben poder ser influidas por la fuerza responsable de dicho proceso. Así, en un proceso en el que toma parte un electrón no puede haber una interacción fuerte, ya que la fuerza fuerte no actúa sobre electrones. Una condición extra es que la interacción no entre en contradicción con ciertas leyes de la conservación, que no se explican ahora por razones de espacio, pero que el lector puede consultar en la obra de Yuval Ne'eman y Yoram Kirsh, Particle Hunters, Cambridge University Press, NY, 1986, págs. 131-177.

Por otro lado, George Zweig publicó varios trabajos durante su estancia en el CERN (Centro de Estudios Nucleares Europeos) en 1964, donde proponía la existencia de quarks pero, a diferencia de Gell-Mann, no lo hizo basándose en el grupo de simetría SU(3), sino en el aspecto físico de su propia existencia. Es decir, supuso que los quarks eran partículas físicas reales y que los hadrones estaban formados por quarks.

Tabla I. Bariones y su contenido de quarks. En la última columna se da el multiplete de SU(2) al cual pertenece.

Barión	Contenido de quarks	Masa MeV (10^6 eV)	Multiplicidad SU(3)	Multiplicidad SU(2)
p	uud	938.27	8	2
n	udd	939.57	8	2
Λ^0	uds	1115.60	8	1
Σ^+	uus	1189.37	8	3
Σ^0	uds	1192.46	8	3
Σ^-	dds	1197.34	8	3
Ξ^0	uss	1314.9	8	2
Ξ^-	dss	1321.32	8	2
Ω^-	sss	1672.45	10	1

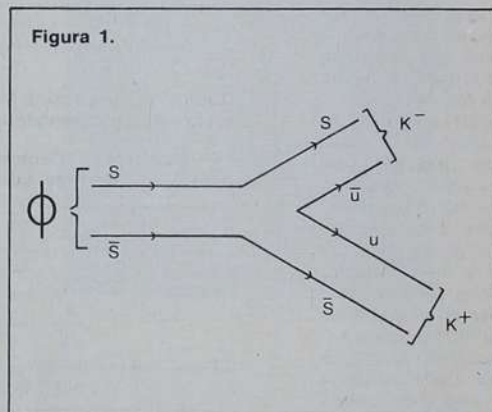
Tabla I (continuación). Mesones y su contenido de quarks. El asterisco indica que estas partículas pertenecen a un grupo de simetría más grande que SU(3).

Mesón	Contenido de quarks	Masa MeV (10^6 eV)	Multiplicidad SU(3)	Multiplicidad SU(2)
π^+	$u\bar{d}$	139.5	8	3
π^-	$\bar{u}d$	139.5	8	3
π^0	$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u}-d\bar{d})$	134.9	8	3
η	$a(u\bar{u}+d\bar{d})+b(s\bar{s})$	548.8	8	1
K^+	$u\bar{s}$	493.6	8	2
K^-	$\bar{u}s$	493.6	8	2
K^0	$d\bar{s}$	497.7	8	2
$\bar{K}^0$	$\bar{d}s$	497.7	8	2
D^+	$c\bar{d}$	1869.3	*	2
D^-	$\bar{c}d$	1869.3	*	2
D^0	$c\bar{u}$	1864.6	*	2
$\bar{D}^0$	$\bar{c}u$	1864.6	*	2

La extrañeza, como el número bariónico, es una especie de "carga" que con toda propiedad fue definida específicamente por una ley de la conservación basada en datos experimentales. Cuando los físicos comenzaron a estudiar los kaones e hiperiones, encontraron que la probabilidad de crearlos en una colisión entre dos protones con la energía adecuada es muy alta. Los cálculos mostraron que una interacción como ésta ocurre siempre que dos protones están en contacto tan sólo durante 10^{-22} seg, lo cual indica que tal proceso es una interacción fuerte. Sin embargo, el periodo de vida de estas partículas es del orden de 10^{-10} seg, por lo que su decaimiento es 10^{12} más lento que una típica interacción fuerte. Este hecho, una prueba adicional, mostró claramente que la interacción débil es responsable del decaimiento de las partículas extrañas. Tal fenómeno presentaba un enigma: hasta el descubrimiento de las partículas extrañas, todos los experimentos indicaban que cada partícula decae de la forma más rápida posible. Y aquí vemos partículas que pueden ser afectadas por la fuerza fuerte (de hecho, fueron creadas en una interacción fuerte) y decaen para dar otras partículas que también están influidas por la fuerza fuerte, y no obstante su decaimiento es de todos modos la fuerza débil, más lenta. Por ejemplo, el hiperión lambda decae en un nucleón y un pión, los cuales participan en interacciones fuertes. El kaón cargado puede decaer en muchas formas, una de las cuales es en tres piones. El residuo de las partículas extrañas decae en piones, nucleones y otras partículas extrañas. ¿Por qué estos decaimientos no suceden dentro de los 10^{-22} seg siguientes a la formación de la partícula? ¿Cuál es el secreto de la vida larga de estas partículas? Puesto que no se tenía una respuesta a la mano, a estas partículas se les dio el nombre de "extrañas".

Mesón	Contenido de quarks	Masa MeV (10^6 eV)	Multiplicidad SU(3)	Multiplicidad SU(2)
D_s^+	$c\bar{s}$	1970.5	*	2
D_s^-	$\bar{c}s$	1970.5	*	2
B^+	$u\bar{b}$	5271.2	*	2
B^-	$\bar{u}b$	5271.2	*	2
B^0	$d\bar{b}$	5275.2	*	2
$\bar{B}^0$	$\bar{d}b$	5275.2	*	2

Una consecuencia de esta suposición es que, a diferencia del caso en que los quarks forman un triplete y que por lo tanto los hadrones pueden estar en multipletes del tipo 1, 3, 6, 8, 20, 27, etc., en el modelo de Zweig los quarks sólo pueden formar multipletes del tipo 1, 8, 10 observados experimentalmente (véase Tabla 1). El modelo de Zweig se conoce como el modelo de quarks constituyente (MQC) y en base a este modelo Zweig pudo explicar el siguiente fenómeno. En el decaimiento de la partícula ϕ , de la cual se creía que no estaba constituido por quarks del tipo s, Zweig propuso que llevaba extrañeza escondida de acuerdo al diagrama en la figura 1.



Es claro a partir de la figura que el mesón ϕ está formado por un quark s y un antiquark s. Es interesante hacer notar que la ruta que siguió Zweig para proponer el MQC empezó a tratar de explicar el decaimiento "anómalo" de la partícula ϕ , pues en aquella época se pensaba que el mesón ϕ se desintegraría más fácilmente en una partícula ρ y un π , ambas partículas sin extrañeza. Sin embargo, el hecho de que mediante el MQC se pudiera explicar de una manera sencilla el decaimiento de la partícula ϕ hizo que algunos físicos empezaran a creer seriamente en el modelo de quarks.

Uno de los primeros en reconocer la importancia de las consideraciones sobre simetría y los principios de invariancia en Física fue Karl Gustav Jacob, gran personalidad en Matemáticas y Física durante el siglo XIX. Prácticamente no existe campo de las Matemáticas y la Mecánica en el que Jacob no haya dejado huella. Al mismo tiempo que él, el concepto de simetría fue desarrollado por el gran matemático irlandés William Rowan Hamilton, y más tarde por el físico francés Pierre Curie (esposo de Marie Curie). A principios del siglo XX, la idea fue perfeccionada por el matemático alemán David Hilbert y su alumna Amalie (Emmy) Noether, una extraordinaria matemática, hija y hermana de matemáticos. Hilbert quería una cátedra para Emmy Noether en Göttingen, que en ese entonces era el centro capital de las Matemáticas en Alemania, pero debido a su condición femenina hubo una fuerte oposición. Hilbert se enfrentó a todos los obstáculos oficiales, pero permaneció uno, insuperable: el edificio de la junta directiva tenía un solo retrete —para hombres—, así que, ¿cómo podía una mujer ser miembro de dicha junta? En 1933 Emmy fue obligada a huir a los Estados Unidos, donde dos años más tarde murió.

Se ha preguntado alguna vez el lector cuál es el significado de la palabra "simetría". He aquí diversas formas simétricas:



Dentro de las ideas que hicieron posible la explicación de las resonancias y estados hadrónicos tenemos las dos siguientes:

1. Las interacciones fuertes son insensibles a los estados de sabor, es decir, a los estados en los cuales se tenga uno de los quarks intercambiado por algún otro.
2. Las interacciones fuertes son insensibles ante el intercambio de 2 quarks del mismo sabor pero con espines contrarios.

Se acostumbra usualmente a hablar en términos de simetrías, y esto sólo se debe al hecho de que existe un teorema que dice: Para toda simetría del sistema físico existe una cantidad que se conserva¹. Por lo tanto, si tenemos una simetría es forzoso que se tenga una cantidad que se conserva. Cuando se tiene una simetría o una cantidad conservada es mucho más simple el análisis del sistema físico en este caso. Si las interacciones fuertes son las mismas ante el intercambio de sabor, por ejemplo, $u \leftrightarrow d$, entonces, existe una simetría del estado físico hadrónico. A su vez, debe de existir una cantidad conservada, que en el ejemplo que se ha elegido vendría a ser lo que se conoce con el nombre de isoespín. La contraparte de la cantidad conservada sería la simetría que está detrás de esta cantidad y que en el ejemplo en cuestión sería el grupo de simetría SU(2). Este grupo está representado por el conjunto de matrices unitarias cuadradas de dimensión 2. Una base de este conjunto de matrices está formada por las matrices de Pauli:

$$\sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

con la propiedad adicional de que su determinante debe ser igual a uno.

Si se introduce un sabor más, digamos el s, podemos construir un grupo análogo al SU(2) que sería el SU(3) de sabor. En este caso el grupo se representa por medio de 8 matrices unitarias llamadas matrices de Gell-Mann. La extensión de estos grupos a más sabores es directa.

Por otro lado, si suponemos la invariancia de las interacciones fuertes ante el intercambio de los espines de los quarks (aproximación que resulta bastante buena) podemos ampliar el grupo de simetría. En el caso de tener invariancia en el espín, además de la invariancia ante el intercambio $u \leftrightarrow d$, se tendrá un grupo del tipo SU(4) donde los elementos de la representación fundamental vendrán dados por los estados: $|u \uparrow\rangle$, $|u \downarrow\rangle$, $|d \uparrow\rangle$ y $|d \downarrow\rangle$. Esta simetría ha sido usada ampliamente en el estudio de las resonancias y estados hadrónicos, es decir, en el estudio de la espectroscopia hadrónica. Bajo esta suposición tendríamos que el protón y el neutrón tendrían las mismas interacciones fuertes. Experimentalmente esto es así. De la figura 2 se puede ver que la sección eficaz total de la dispersión entre K^- -protón y K^- -neutrón es muy similar. En esta figura se está graficando el valor de la sección eficaz total contra la energía del haz incidente. La concordancia entre las dos gráficas demuestra experimentalmente que el protón y el neutrón son, bajo

¹ Este teorema se debe a Emmy (Amalie) Noether.

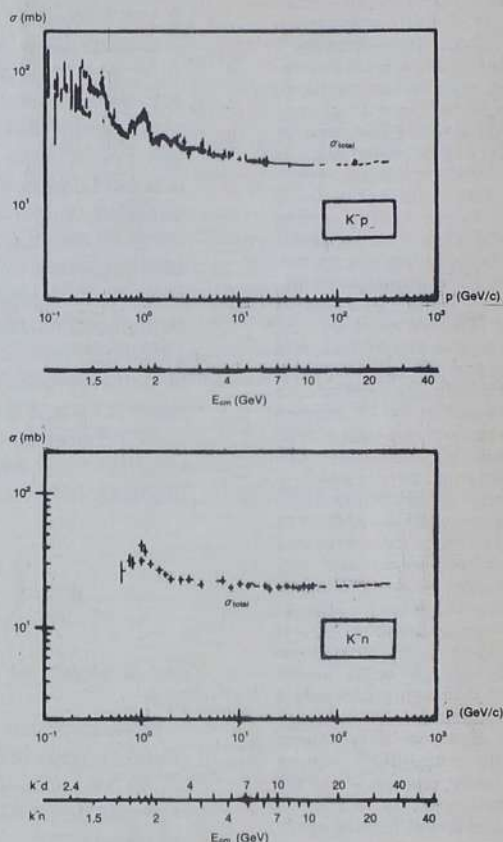
Cuando decimos que cierto patrón es simétrico, queremos decir que su forma no cambiará si la invertimos, si la reflejamos en un espejo, y así sucesivamente. En cada caso, podemos definir aquellas operaciones respecto de las cuales la forma es simétrica. Por ejemplo, la figura c es simétrica con respecto a una rotación de 180° alrededor de su centro. Los físicos han extendido el concepto de simetría más allá de su significado geométrico. Se puede decir que la ecuación algebraica $a + b = c + d$ es simétrica con respecto a la operación:

$$a \rightarrow -c \quad c \rightarrow -a$$

En otras palabras, si se reemplaza cada "a" con "-c", y cada "c" con "-a", la ecuación no cambiará. Otro concepto que se utiliza frecuentemente en este sentido es la invariancia. Decimos que la ecuación es invariante (no cambia) con respecto a la operación mencionada anteriormente. Puede demostrarse que casi todas las leyes de la conservación provienen de una cierta simetría elemental de la naturaleza, o, en otras palabras, de cierto principio de invariancia; del hecho de que las leyes de la naturaleza no cambian bajo determinada operación imaginaria. Estas relaciones entre leyes de la conservación, simetría y principios de invariancia fueron señalados por Emmy (Amalie) Noether.

las interacciones fuertes, la misma cosa. Existen muchas más pruebas experimentales que nos ayudan a identificar la simetría entre el protón y el neutrón, o sea, la simetría de isoespín².

Figura 2.



² Dentro de estas pruebas están lo que se suele llamar como reglas de masas. Sin embargo, estas reglas de masas se dan en términos de simetrías aún más grandes, que incluyen al quark s. Esta simetría SU(3) de sabor tiene la siguiente regla de suma:

$$\frac{1}{2} (M_N + M_{\Xi}) = \frac{1}{4} (3M_{\Lambda} + M_{\Sigma})$$

donde:

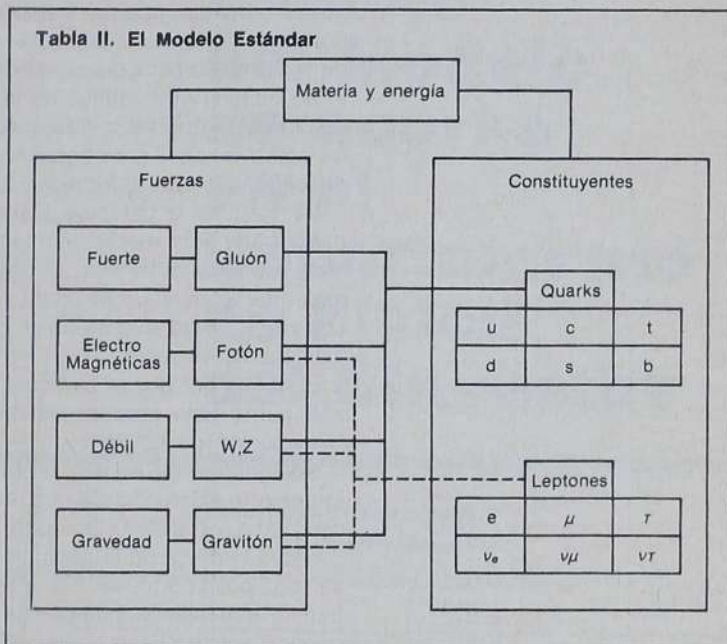
$$M_N = \frac{1}{2} (M_p + M_n), \quad M_{\Xi} = \frac{1}{2} (M_{\Xi^0} + M_{\Xi^-}) \quad \text{y} \quad M_{\Sigma} = \frac{1}{3} (M_{\Sigma^+} + M_{\Sigma^-} + M_{\Sigma^0}).$$

Existen otras pruebas relacionadas con los momentos magnéticos de los bariones. Por ejemplo, se tiene que la predicción teórica de la razón de momento magnético del neutrón al protón

$$\frac{\mu_n}{\mu_p} = -\frac{2}{3}, \quad \text{y que comparada con el dato experimental}$$

$$\frac{\mu_n}{\mu_p} = -0.685 \quad \text{resulta bastante buena.}$$

Recapitulando, tenemos el siguiente cuadro. Los quarks forman bariones y mesones. Los primeros están formados por 3 quarks y los segundos por quark-antiquark. Al ir subiendo las energías de los aceleradores se van encontrando nuevos sabores. Hasta la fecha se han encontrado 5 sabores, que son: u, d, s, c y b. El sexto sabor, llamado t, aún no ha sido encontrado, pero se sospecha fuertemente de su existencia. La razón de esta sospecha es debida al esquema con que se agrupan los sabores de acuerdo a su interacción débil. De hecho, tenemos la siguiente Tabla II, donde se pueden apreciar los componentes básicos de la materia y sus interacciones.



La razón de que los quarks formen estados ligados que sólo vienen en la forma de tres quarks y quark-antiquark, se debe a la existencia de una nueva interacción llamada color. En la Tabla II se muestra que el responsable de esta interacción es el gluón³. Ya desde los años 60 se hablaba de su posible existencia. A principios de los 70 fue cuando se formuló una teoría invariable ante transformaciones locales que se llamó Cromodinámica Cuántica. Uno de los principios de esta teoría es el de que todos los hadrones deben de ser neutros ante el color, es decir, no deben de poseer color. Por lo tanto, los únicos estados de quarks son los que se observan experimentalmente.

Otra propiedad física interesante que da origen a esta nueva interacción de color es la de libertad asintótica. Lo que se observa experimentalmente es que los quarks se comportan libremente si uno aumenta la energía con que se les observa. Esto surge del hecho matemático de que la constante de acoplamiento fuerte o de

Los quarks tienen sabor y color. Estos nombres no tienen nada que ver con el significado que les damos comúnmente, sino que fueron inventados como reglas nemotécnicas. Cada uno de los quarks o sabores de quarks viene en tres colores (rojo, verde y azul). Hasta el

³ De la palabra inglesa, glue, que significa pegamento.

momento, se reconoce que el sabor y el color son dos propiedades completamente independientes. El sabor es una característica o "algo" que distingue a los quarks, mientras que el color es la fuerza que mantiene unidos a los quarks dentro de los bariones y mesones.

color, α_s , no es verdaderamente constante. Lo que se quiere decir es que α_s realmente depende del momento transferido que se proporciona al experimento, o sea, $\alpha_s = \alpha_s(q^2)$. Así, libertad asintótica querría decir que cuando $q^2 \rightarrow \infty$, $\alpha_s(q^2) \rightarrow 0$. Esta es una de las propiedades más interesantes que se encuentran en el mundo subnuclear donde los quarks juegan el papel más importante.

Habíamos mencionado que al aumentar la energía se observaba otro fenómeno, que era la aparición de nuevos sabores. El 11 de Noviembre de 1974 se anunció simultáneamente en dos laboratorios de física de altas energías (Burton Richter en Stanford, California, y Sam Ting en Brookhaven, Long Island), la existencia de una nueva partícula, que fue bautizada como J en Brookhaven y ψ en Stanford. Dicha partícula presentaba la característica extraordinaria de vivir mucho tiempo a pesar de que decaía en hadrones. El modelo de quarks y las teorías de norma predecían la existencia de un nuevo quark que se bautizó con el nombre de encanto (charm o C.) Este nuevo sabor era necesario para explicar ciertos decaimientos de partículas con extrañeza (strangeness o s).

La masa de la partícula J/ ψ es de 3,096.9 MeV. El hecho de que tuviera una vida media muy larga vino a corroborar dos puntos de vista teóricos: el modelo de Zweig y la libertad asintótica. Ambos aspectos teóricos debieron de ser incorporados para poder explicar la particularidad que se observaba en cuanto a la medición de la vida media se refiere.

El hecho era que la partícula J/ ψ estaba constituida de charm y anticharm. Esto produjo una revolución que se conoce como la "Revolución de noviembre" en la física de partículas elementales.

Posteriormente, en 1977, Leon Lederman en Fermilab (Chicago), anunció la existencia de una nueva partícula llamada desde entonces como γ (ypsílón). Su masa es de 9,460 Mev, aproximadamente 3 veces la masa de la partícula J/ ψ . Mediante análisis exhaustivos se supo posteriormente que la partícula γ era muy parecida a la J/ ψ , puesto que estaba compuesta de beauty-antibeauty (también se conoce a este nuevo número cuántico como bottom. En todo caso se le designa con la letra b).

Finalmente, existen evidencias de que existe un sexto quark denominado con la letra t (top o truth), pero su existencia aún no ha sido confirmada.

El modelo de quarks ha pasado por varias etapas; la última y más importante se debe a su utilización como guía para describir y entender el mundo de las partículas elementales.

Una de las posibles preguntas que se podrán responder en un futuro cercano es la siguiente: ¿Cuántos sabores hay aparte de los ya conocidos y confirmados? En el Departamento de Física del CINVESTAV existe un grupo de físicos, entre los que se encuentra el autor del presente artículo, interesados en contestar esta pregunta. Uno de los posibles caminos consiste en tratar de explicar los decaimientos débiles de bariones pesados. De hecho, se ha propuesto en un artículo recientemente la posible existencia de una generación más de quarks y que podría confirmarse o descartarse en un futuro cercano⁴.

⁴ A. García, R. Huerta y P. Kielanowski. *Phys. Rev.Lett.* 59, 864 (1987).



Estudio del Modelo de quarks en el Departamento de Física del Cinvestav

*Mauro Napsuciale Mendivil
y Rodrigo Huerta Quintanilla*

Mauro Napsuciale Mendivil es estudiante de maestría y el doctor Rodrigo Huerta Quintanilla es profesor titular e investigador del Departamento de Física.

Introducción

A principios de la década de los 60s, se tenía conocimiento de una gran cantidad de partículas "elementales", la mayoría de las cuales eran partículas resonantes con tiempos de vida que decrecían cada vez más. Era pues urgente encontrarles un esquema de clasificación correcta; una especie de tabla periódica de partículas elementales análoga a la de Mendeleieff para los elementos químicos, la cual arrojará algo de luz acerca de lo que estaba sucediendo en el mundo subatómico. Otra de las preocupaciones fuertes de ese entonces era el hecho de que existieran tantas y tan variadas partículas "elementales", la mayoría de las cuales exhibían propiedades tales

como: altos valores de espín y números cuánticos internos (Isoespín, Hypercarga, etc.), masas muy grandes, región ocupada en el espacio de 10^{-15} m etc., que argüían en favor de constituyentes más fundamentales que de alguna forma se combinaban para formar las partículas conocidas. Sin embargo, había que encontrar primero una clasificación para aquéllas de acuerdo a la simetría interna que exhibían, antes de estudiar estos constituyentes primarios que, por lo demás, eran sumamente especulativos.

En este trabajo se dan las ideas fundamentales que llevaron a la formulación del modelo quark no relativista, las evidencias experimentales de los quarks como partículas fundamentales con los números cuánticos exigidos por el modelo y, finalmente, como ejemplo, se calculan los momentos magnéticos de los bariones con encanto.

Nacimiento de los quarks

Simetría de los nucleones y el isoespín

El punto de partida para la clasificación de los hadrones es el hecho de que las interacciones fuertes son indiferentes a la carga eléctrica. Así, los nucleones (protón, neutrón) pueden considerarse como una misma partícula ante estas interacciones y se puede dar cuenta de esta indiferencia introduciendo el concepto de isoespín.

En la misma forma que las dos orientaciones diferentes en el espacio real de la tercera componente del espín del electrón proporcionan dos estados distintos en los que el electrón puede existir en presencia de un campo electromagnético, las diferentes orientaciones de la tercera componente de un espín isotópico (*isoespín*) en un espacio de carga abstracta (llamado espacio de isoespín) podrían dar cuenta de los distintos estados de carga dentro de una familia de partículas. Así, las diferencias de masa entre las partículas pertenecientes a una misma familia podrían ser provocadas por las interacciones electromagnéticas, en la misma forma que los dos estados del electrón se distinguen por un campo magnético, dando lugar a corrimientos en la energía. Matemáticamente esto se puede representar como una invariancia de las interacciones fuertes ante rotaciones en el espacio del isoespín.

En particular para los nucleones, el grupo que da cuenta de esta invariancia es el $SU(2)^*$. Podemos considerar al protón (P) y al neutrón (N) como los estados básicos $\xi_1 = p$ y $\xi_2 = n$; por supuesto, los piones (π^+ , π^0 , π^-) y los bariones $\Delta(\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-)$ también deben ser invariantes ante rotaciones en el espacio de isoespín. Sin embargo, como veremos, éstos se pueden clasificar como productos directos de las representaciones de $SU(2)$, en forma similar a como surgen los multipletes de S_z en el espacio de espín en la combinación de momentos angulares.

El doblete (ξ_1, ξ_2) con isoespín $I = 1/2$ forma una base para la representación fundamental de $SU(2)$. No obstante, podemos definir isoespinores

* $SU(2)$ está representado por el conjunto de todas las matrices complejas de 2×2 , unitarias, cuyo determinante es igual a 1.

controvariantes $\eta = (\eta^1, \eta^2)$ que ante $SU(2)$ se transformen de tal forma que $\eta^i \xi_i$ sea invariante. Estos isoespinores describen las propiedades de transformación de las antipartículas $\bar{p}$ y $\bar{n}$. Por simplicidad escribiremos estos isoespinores como 2 y $\bar{2}$.

Es claro que para la clasificación de piones y bariones Δ necesitamos generar multipletes de isoespín más grandes (representaciones irreducibles de $SU(2)$ de dimensión mayor). Esto se puede hacer formando productos directos de 2 y 2. Consideremos, por ejemplo, la combinación $2 \times \bar{2}$, de donde obtenemos entonces los cuatro estados:

$$M_k^i = \eta^i \xi_k \quad i, k = 1, 2.$$

Estos estados tienen propiedades mixtas de transformación ante $SU(2)$, es decir, no forman una base para representaciones irreducibles del grupo. No obstante, podemos tomar combinaciones lineales de ellos y formar 2 conjuntos de estados ortonormales que sí lo sean, esto es, los estados de cada conjunto se transforman ante $SU(2)$ en otro estado del mismo conjunto y, como tal, forman 2 multipletes. Uno de estos estados es η^1 y los otros 3 forman un triplete. Estos conjuntos normalizados son:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\eta^1 \xi_1 + \eta^2 \xi_2) \quad \text{singlete} \quad I_z = 1/2 \\ \pi^+ &= \eta^2 \xi_1 = \bar{p}p \\ \pi^0 &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\eta^1 \xi_1 - \eta^2 \xi_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{p}p - \bar{n}n) \quad \text{triplete} \\ \pi^- &= \eta^1 \xi_2 = \bar{p}n \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} -I_z = 1/2 \\ -I_z = 0 \\ -I_z = -1/2 \end{array} \right\} I = 1.$$

Simbólicamente, podemos escribir este resultado como:

$$2 \otimes \bar{2} = 1 \oplus 3.$$

De esta relación llegamos a la predicción de que todos los mesones con Hypercarga $Y = 0$ deben ser familias de triplete o singletes.

En forma similar, tomando el producto $2 \otimes 2 \otimes \bar{2}$ obtenemos:

$$2 \otimes 2 \otimes \bar{2} = 2 \oplus 2 \oplus 4,$$

lo cual predice que todos los bariones de Hypercarga $Y = 1$ deben ser dobletes y cuádrupletes de isoespín. Así, de la relación $Y = B + S$ concluimos entonces que los dobletes nucleón y antinucleón

son los bloques con los que podemos construir todos los hadrones de extrañeza cero. Sin embargo, faltaría por incorporar las partículas que tienen extrañeza, para lo cual necesitamos un constituyente más que dé cuenta de esta propiedad, y con ello un grupo de simetría mayor. Esta propiedad se intenta reproducir introduciendo el hiperón Λ ($S = -1$) en un triplete fundamental de $SU(3)$, en lo que se llamó el modelo Sakata.

Simetría de bariones y mesones, y $SU(3)$

Modelo Sakata

Aunque parece obvio, no es fácil demostrar que $SU(3)$ es el grupo de simetría apropiado para incorporar la propiedad de extrañeza de algunos hadrones.

La única diferencia entre $SU(3)$ y $SU(2)$ es que nuestro estado base es un espinor tridimensional

$$\xi = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} = 3,$$

que en el modelo Sakata se identificó con el triplete de partículas

$$\begin{pmatrix} p \\ n \\ \Lambda \end{pmatrix}.$$

De igual forma que en aquél, definimos el espinor contravariante como $\eta = (\eta^1, \eta^2, \eta^3) = (\bar{p}, \bar{n}, \bar{\Lambda}) = \bar{3}$ para describir las propiedades de las antipartículas. Estos dos espinores generan la representación fundamental de $SU(3)$.

Haciendo exactamente lo mismo que para $SU(2)$, tenemos las siguientes descomposiciones en representaciones irreducibles para los productos directos de las representaciones fundamentales:

- i) $3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8$
- ii) $3 \otimes 3 \otimes \bar{3} = 15 \oplus 3 \oplus 3 \oplus \bar{6}$
- iii) $3 \otimes 3 \otimes 3 = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10$
- iv) $3 \otimes 3 = \bar{3} \oplus 6.$

Con estas descomposiciones, el modelo de Sakata nos da una buena descripción de las multiplicidades de los mesones (que desde el modelo $SU(2)$ de Fermi-Yang veíamos que se reproducían como productos directos de los espinores base covariante y contravariante), los cuales se presentan en la naturaleza como un singulete y un octete. Sin embargo, había problemas fuertes en la clasificación de los bariones.

De acuerdo al modelo, las partículas p , n y Λ llenan el triplete fundamental, por lo cual las Σ y Ξ deben pertenecer a otro multiplete (todos estos son bariones de espín $1/2$). Pueden formarse otros multipletes con $B = 1$ mediante el producto $3 \times 3 \times \bar{3}$; en el modelo cada 3 tiene $B = 1$, $\bar{3}$ tiene $B = -1$, y como el número bariónico B es aditivo, de $3 \times 3 \times \bar{3}$ obtenemos estados con $B = 1$. Para este producto tenemos la descomposición en representaciones irreducibles:

$$3 \otimes 3 \otimes \bar{3} = 15 \oplus 3 \oplus 3 \oplus \bar{6}.$$

Nosotros deberíamos encontrar multipletes de bariones pertenecientes a los multipletes 15 , $\bar{6}$ o 3 de $SU(3)$, así Σ y Ξ deben pertenecer al 15 con $J^P = 3/2^+$, ya que 6 y 3 no tienen los números cuánticos de aquellos. El problema era que los otros miembros del multiplete no se encontraban en la naturaleza.

De igual forma, las partículas Δ deben pertenecer a 15 con $J^P = 3/2^+$, ya que no hay estados con $I = 3/2$ en las representaciones $\bar{6}$ o 3 , pero de nuevo 15 contiene además de esos multipletes un multiplete $I = 1$ con extrañeza $S = 1$ que no se había observado. Otro problema era que no había lugar para la partícula Ω en ninguna de esas representaciones. Además de estos inconvenientes del modelo Sakata, existen otros no menos importantes que no analizaremos aquí. El más fuerte de todos era que los cálculos teóricos de las propiedades de las partículas eran incompatibles con los experimentos.

Aunque el modelo Sakata no funcionaba bien al reproducir los números cuánticos, había una coincidencia en cuanto a las multiplicidades de las partículas observadas y las representaciones irreducibles; por ejemplo, los bariones n , p , Σ , Ξ y Λ_0 , todos de espín $1/2$, forman un octete; los mesones K , π y η forman otro octete de espín cero; y los bariones Δ , Y^* y Ξ^* formaban un decuplete $J = 3/2$ al que sólo le hacía falta una partícula de espín $3/2$, $I_3 = 0$ y $Y = -2$. Estos multipletes podían asociarse con las descomposiciones:

$$3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8 \quad \text{y} \quad 3 \otimes 3 \otimes 3 = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10.$$

Así, aunque el modelo Sakata no reproducía correctamente las multiplicidades y números cuánticos de los bariones, la clasificación de estos sí podía hacerse con base en algunos multipletes del grupo SU(3) en que estaba realizado.

Quarks y clasificación de hadrones

Debido al fracaso del modelo Sakata para encontrar las multiplicidades correctas de los bariones, en 1961 Gell-Mann y Zweig, en forma independiente, propusieron un modelo en que las partículas asignadas al triplete fundamental no eran necesariamente p, n y Λ , sino otras, aún no descubiertas, con las mismas propiedades de isoespín y extrañeza que aquellas a las cuales Gell-Mann llamó "quarks" y Zweig "aces", el primero de cuyos nombres ha prevalecido; así todos los bariones y mesones están constituidos del triplete fundamental de quarks.

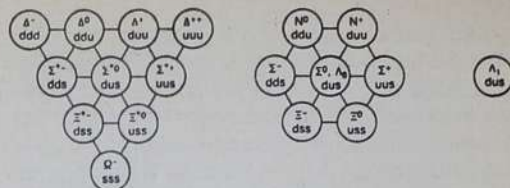
Un hecho sobresaliente es que las únicas representaciones de SU(3) a las que se les podía asociar partículas eran aquellas que surgían de cualquiera de las 2 combinaciones: $3 \otimes \bar{3}$ y $3 \otimes 3 \otimes 3$, la primera de las cuales la llenaban los mesones y la segunda los bariones. De esta forma los bariones estarían formados por 3 quarks y los mesones por quark-antiquark.

A los quarks se les denotó por u(up), d(down) (asociados con la idea de isoespín) y s(strangeness); así, los nuevos tripletes fundamentales para SU(3) serían

$$3 = q = \begin{pmatrix} u \\ d \\ s \end{pmatrix} \quad \text{y} \quad \bar{3} = \bar{q} = \begin{pmatrix} \bar{u} \\ \bar{d} \\ \bar{s} \end{pmatrix}.$$

El descubrimiento en 1963 de la partícula Ω^- (originalmente predicha por Gell-Mann) con los números cuánticos requeridos por el decuplete de bariones de espín 3/2 fue el primer éxito notable de este modelo.

El contenido quárcico para las representaciones fundamentales de SU(3) ya analizadas son:



Los quarks u y d forman un isodoublete ($I = 1/2$) de extrañeza $S = 0$, y el quark s es un isoescalar de extrañeza $S = -1$. Como necesitamos 3 quarks para poder construir un barión, una de las consecuencias inmediatas del modelo es que los quarks deben tener $B = 1/3$ y, en consecuencia, hipercarga.

$$Y_u = B + S = 1/3 \quad Y_d = B + S = 1/3 \quad Y_s = B + S = -2/3;$$

y de la relación Gell-Mann-Nishijima las cargas correspondientes deben ser:

$$(Q = I_z + \frac{Y}{2}) \quad Q_u = 2/3 \quad Q_d = -1/3 \quad Q_s = -1/3.$$

Por otro lado, para generar el espín de los bariones (fermiones) y mesones (bosones), los quarks deberían tener espín 1/2.

Las propiedades de los quarks las resumimos en la siguiente tabla:

Tabla I

Sabor	espín	carga	isoespín	I_z	S	C	B	T
u	1/2	2/3	1/2	1/2	0	0	0	0
d	1/2	-1/3	1/2	-1/2	0	0	0	0
s	1/2	-1/3	0		-1	0	0	0
c	1/2	2/3	0		0	1	0	0
b	1/2	-1/3	0		0	0	-1	0
t	1/2	2/3	0		0	0	0	1

En un principio los quarks fueron considerados como entidades matemáticas, ya que no es necesario suponer su existencia como partículas observables para obtener buenos resultados con SU(3). Además, el hecho de que los quarks tuvieran carga fraccionaria y no se hubieran observado en los experimentos provocaba un natural escepticismo hacia su realidad física.

Como veremos en el siguiente punto, hay cierta evidencia experimental indirecta totalmente convincente acerca de la realidad de los quarks co-

mo partículas, a pesar de que éstas no han sido observadas directamente como partículas aisladas.

Una vez que hubo cierta evidencia en favor de los quarks se procedió a ir más allá en el estudio de los hadrones (es decir, de bariones y mesones) para tratar de entender la estructura de los mismos.

De acuerdo con la ecuación de Dirac, la cual describe un electrón relativista, el electrón debe tener un espín igual a $1/2$ y momento magnético

dipolar igual a $\frac{e}{2m_e}$. El experimento coincide

con la predicción teórica hasta en una diez mil millonésima (incluyendo correcciones radiativas). En otras palabras, lo que quiere decir esta coincidencia entre teoría y experimento es que el electrón puede ser considerado como una partícula puntual. No sucede lo mismo con los bariones y mesones, pues todos ellos tienen momentos magnéticos distintos de los que predice una teoría como la de Dirac. Esto quiere decir que los hadrones son necesariamente partículas compuestas, no importando si los quarks son los constituyentes. Por otro lado, habiendo ya indicaciones de que los quarks, con las propiedades dadas en la tabla I, pueden describir las propiedades y números cuánticos de los hadrones, se pensó en la existencia de los quarks como una posibilidad muy cercana a la realidad.

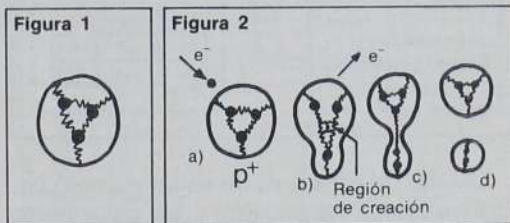
En la década de los 60 y principios de los 70 la evidencia experimental acumulada en favor de los quarks era abrumadora. Sin embargo, no existe hasta la fecha ningún experimento en donde se hayan observado directamente los quarks, es decir, los quarks sólo pueden ser vistos dentro de los hadrones sin que hasta el momento se haya podido sacar algún quark una distancia más grande que el tamaño típico de un hadrón, que es de un fermi (10^{-13} cm).

Por otro lado, había ciertas discrepancias entre teoría y experimento que solamente se podían resolver introduciendo un nuevo número cuántico para los quarks. A éste se le llamó color. Una vez introducido el color como un grano de libertad más para los quarks, se demostró que el grupo de simetría debía ser $SU(3)$ de color, y por lo tanto tenía que existir un fenómeno conocido como libertad asintótica. Este nuevo fenómeno ya había sido observado experimentalmente y conducía, en el otro extremo de energías, a lo que se denominó por la palabra confinamiento. En otras palabras, si por un lado se tiene que los quarks se

comportan como si estuvieran libres cuando las energías, que se usan para observarlos, son grandes, por otro lado se tiene que si las energías son bajas entonces los quarks se confinan. Visto de otra manera, lo que esto significa es que debido al principio de incertidumbre de Heisenberg podemos relacionar la energía (o el momento) con la distancia, ya que se tiene

$$P_x X \geq 1,$$

en unidades donde $\hbar = 1$. De esta relación se puede ver que a muy altas energías corresponden muy cortas distancias y viceversa. Por lo tanto, el comportamiento de los quarks se describe diciendo que dentro de los hadrones los quarks son casi libres, y cuando se intenta sacar uno de ellos, debido al confinamiento, no es posible hacerlo. De hecho podemos representar pictóricamente un protón, el cual está hecho de dos quarks del tipo u y uno del tipo d , a la manera de la figura 1. Las líneas en forma de resortes representan las interacciones entre los quarks y la "bolsa". En la figura 2 se esquematiza una reacción en la cual se hace incidir un electrón muy energético sobre un protón. Al golpear el electrón uno de los quarks, la bolsa se deforma como en *b*), ya que el quark que fue golpeado intenta salir. Parte de la energía depositada por el electrón se convierte en energía de creación de pares quark-antiquark. En el diagrama *c*) se representa el momento de creación de este par, y por último en *d*) se tienen las partículas finales que son un protón y un pión, dado que el pión está hecho de un quark y un antiquark.



Así como la reacción anterior puede ser descrita en términos de quarks, tenemos que todos los procesos hadrónicos se pueden describir mediante la utilización de diagramas de Feynman que involucren a los quarks. Por ejemplo, el decaimiento del neutrón (udd) en un protón (uud) se describe como en la figura 3, donde en el estado final, aparte del protón, tenemos un electrón y un

anti-neutrino del electrón. El bosón intermediario, W^- , que aparece en la figura es el responsable o el mediador de la interacción débil. En la figura 4 podemos ver una descripción de lo que constituye el modelo estándar. De la figura podemos observar que existe una gran similitud entre los quarks y leptones, excepto por el hecho de que los primeros interactúan fuertemente mientras que los últimos no lo hacen así. Es de esperarse que en el futuro se encuentre una explicación para esta coincidencia entre quarks y leptones.

Figura 3

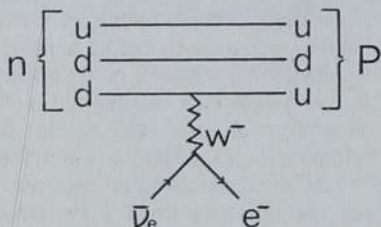
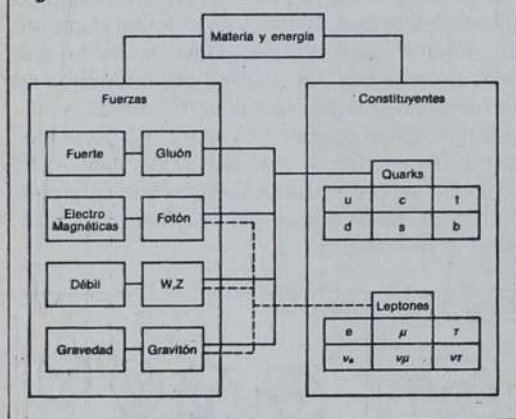


Figura 4



Volviendo al estudio de los hadrones, nos concentraremos en los bariones y sus propiedades estáticas. Para esto debemos servirnos del espín. Dado que los quarks poseen espín $1/2$, y hasta la fecha *no* se tiene una evidencia confirmada de que los quarks, a su vez, están formados por otras partículas más fundamentales, tenemos que el momento magnético de los quarks es:

$$\vec{\mu}_q = \frac{e_q}{2m_q} \vec{\sigma},$$

donde $\vec{\sigma}$ es el vector formado por las tres matrices de Pauli.

En la ecuación anterior, e_q es la carga del quark correspondiente, y m_q es su masa, que en el modelo estándar es un parámetro, el cual se determina a través de los momentos magnéticos de los bariones. Los momentos magnéticos de los bariones vienen dados por la expresión.

$$\mu_B = \langle B | \sum_i \mu_q(i) \sigma_3(i) | B \rangle,$$

donde i corre sobre los 3 valores de los quarks en el barión considerado; por ejemplo, si $B = \text{protón}$, entonces $i = u, u, d$.

En la ecuación de arriba, $|B\rangle$ es la función de onda del barión en términos de los quarks. La manera en que se obtienen dichas funciones de onda es la siguiente.

Dado que la función de onda de los bariones tiene la forma

$$\psi_B = \psi_{\text{color}} \times \psi_{\text{sabor}} \times \psi_{\text{espín}} \times \psi_{\text{espacial}},$$

y debido a que la función ψ_{color} tiene que ser totalmente antisimétrica y además ψ_{espacial} debe de ser simétrica, tenemos que el producto de las funciones de onda $\psi_{\text{sabor}} \psi_{\text{espín}}$ debe ser totalmente simétrico ante el intercambio de cualesquiera par de quarks. Podemos representar la función de onda del barión como

$$T_{\alpha\beta\gamma} \epsilon^{cc'c''} a_{\alpha}^{c+} b_{\beta}^{c'+} c_{\gamma}^{c''+} |0\rangle,$$

donde $T_{\alpha\beta\gamma}$ representa la parte de sabor y espín $a_{\alpha}^{c+}, b_{\beta}^{c'+}, c_{\gamma}^{c''+}$ son operadores de creación de quarks con índices α, β, γ de sabor y espín y c, c', c'' , de color. Dado que en la parte de color debe de ser totalmente antisimétrica, se introduce el tensor de Levi-Civita $\epsilon^{cc'c''}$ definido como

$$\epsilon^{cc'c''} = \begin{cases} 1 & \text{si } ccc'' \text{ es una permutación par de } 1, 2 \text{ y } 3 \\ -1 & \text{si } ccc'' \text{ es una permutación impar de } 1, 2 \text{ y } 3 \\ 0 & \text{si es de alguna otra manera.} \end{cases}$$

Cada índice α, β o γ , que corresponde al sabor y espín del quark en cuestión, puede tomar los siguientes valores:

$$\alpha, \beta \text{ o } \gamma = \{u, \bar{u}, d, \bar{d}, s, \bar{s}\}$$

Por el momento nos vamos a restringir al caso de 3 sabores, u, d y s. Más adelante consideraremos los sabores pesados c, b y t.

Una forma conveniente de construir los estados de bariones consiste en hacer uso de los operadores que cambian espín y sabor. Dado que el índice de sabor y espín corre de 1 a 6 y que el tensor $T_{\alpha\beta\gamma}$ es totalmente simétrico, tendremos en total 56 estados posibles para este tensor. Por otro lado, debido a que tenemos tres sabores, podemos definir los operadores que cambian sabor mediante la siguiente tabla (II). En la figura 5 se esquematiza la acción de los operadores de sabor. Además, tenemos los operadores que cambian espín. Estos operadores se definen como

$$T_+ | \downarrow \rangle = | \uparrow \rangle, \quad T_- | \uparrow \rangle = | \downarrow \rangle,$$

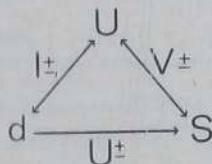
$$\text{donde } T_+ = \frac{1}{2} (\sigma_1 \times \sigma_2) \text{ y } T_- = \frac{1}{2} (\sigma_1 - i\sigma_2).$$

En estas expresiones tenemos que σ_1, σ_2 son matrices de Pauli.

Tabla II

$$\begin{aligned} I_- |u\rangle &= |d\rangle \\ I_+ |d\rangle &= |u\rangle \\ V_+ |u\rangle &= |s\rangle \\ V_- |s\rangle &= |u\rangle \\ U_- |d\rangle &= |s\rangle \\ U_+ |s\rangle &= |d\rangle \end{aligned}$$

Figura 5



Supongamos que queremos construir todos los estados con espín $J_z = 3/2$. Empecemos con

$$| \Omega_{3/2}^- \rangle = | s s s \rangle$$

$$U + | \Omega_{3/2}^- \rangle = U + | s s s \rangle =$$

$$= N(| d s s \rangle + | s d s \rangle + | s s d \rangle),$$

donde N es un factor de normalización igual a $\frac{1}{\sqrt{3}}$;

$$U \cdot U \cdot | \Omega_{3/2}^- \rangle = U \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (| d s s \rangle + | s d s \rangle + | s s d \rangle)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}} N (| d d s \rangle + | d s d \rangle + | d s s \rangle +$$

$$+ | s d d \rangle + | d d d \rangle + | s s d \rangle)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}} (| d d s \rangle + | d s d \rangle + | s d d \rangle)$$

$$U + U + U + | \Omega_{3/2}^- \rangle = | d d d \rangle \equiv | \Delta_{3/2}^- \rangle$$

$$I_+ | \Delta_{3/2}^- \rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (| u d d \rangle + | d u d \rangle + | d d u \rangle)$$

$$I_+ | \Delta_{3/2}^- \rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (| u d d \rangle + | d u d \rangle + | d d u \rangle)$$

$$I_+ I_+ | \Delta_{3/2}^- \rangle = | u u d \rangle \equiv \Delta^{++}$$

$$V_- | \Omega_{3/2}^- \rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (| u s s \rangle + | s u s \rangle + | s s u \rangle)$$

$$V_- V_- | \Omega_{3/2}^- \rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (| u u s \rangle + | u s u \rangle + | s u u \rangle)$$

$$V_- V_- V_- | \Omega_{3/2}^- \rangle = \Delta^{*+}$$

Finalmente, tenemos una sola combinación de (uds):

$$I_- V_- V_- | \Omega_{3/2}^- \rangle = \frac{1}{\sqrt{6}} (| d u s \rangle + | u d s \rangle +$$

$$+ | d s u \rangle + | u s d \rangle + | s d u \rangle + | s u d \rangle).$$

Por lo tanto, tenemos 10 estados con $J_z = 3/2$; sin embargo, aplicando el operador T_- varias veces, podemos construir estados con $J_z = 1/2, -1/2$ y $-3/2$. En total tendremos 40 estados de los 56 que podemos construir.

Los 16 estados restantes se encuentran formados por bariones con espín $1/2$ y forman por lo tanto un octete. Los estados que forman el octete de bariones son producto de las funciones de espín y de sabor, ambas con propiedades mixtas ante permutaciones de índices. Por ello es que en este octete no tenemos ningún barión que contenga tres sabores iguales dado que esto representaría una función completamente simétrica ante el índice de sabor.

Tabla III

Momentos magnéticos de los bariones

Barión	μ	Barión	μ
p	$(4\mu_u - \mu_d)/3$	Σ_c^0	$(4\mu_d - \mu_c)/3$
n	$(4\mu_d - \mu_u)/3$	Ξ_c^+	$(2\mu_u + 2\mu_s - \mu_c)/3$
Λ^0	μ_s	Ξ_c^0	$(2\mu_d + 2\mu_s - \mu_c)/3$
Σ^+	$(4\mu_u - \mu_s)/3$	Ω_c^0	$(4\mu_s - \mu_c)/3$
Σ^0	$(2\mu_u + 2\mu_d - \mu_s)/3$	Λ_c^+	μ_c
Σ^-	$(4\mu_d - \mu_s)/3$	Ξ_c^+	μ_c
Ξ^0	$(4\mu_u - \mu_d)/3$	Ξ_c^0	μ_c
Ξ^-	$(4\mu_d - \mu_d)/3$	Ξ_{cc}^{++}	$(4\mu_c - \mu_u)/3$
Σ_c^+	$(4\mu_u - \mu_c)/3$	Ξ_{cc}^+	$(4\mu_c - \mu_d)/3$
Σ_c^0	$(2\mu_u + 2\mu_d - \mu_c)/3$	Ω_{cc}^+	$(4\mu_c - \mu_s)/3$

Por otro lado, tenemos que los bariones del decuplete con espín $1/2$, los cuales se obtienen aplicando T_- sobre los estados antes obtenidos, deben ser ortogonales a los estados del octete. Por ejemplo, a partir del estado

$$I_+ I_+ | \Delta_{3/2}^- \rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} (| u u d \rangle + | u d u \rangle + | d u u \rangle),$$

obtenemos:

$$\begin{aligned} T-I+I+|\Delta_{3/2}^- \rangle &= \frac{1}{N} (T-|uudf\rangle + T-|ufud\rangle + T-|dufu\rangle) \\ &= \frac{1}{\sqrt{9}} (|uudf\rangle + |ufud\rangle + |dufu\rangle + \\ &+ |ufdu\rangle + |udfu\rangle + |ufdu\rangle + |dufu\rangle + \\ &+ |dufu\rangle). \end{aligned}$$

Este estado debe ser ortogonal al estado del protón con función de onda de tipo general siguiente:

$$\begin{aligned} |P\rangle &= \frac{1}{N} (c_1 |uudf\rangle + c_2 |ufud\rangle + c_3 |dufu\rangle + \\ &+ c_4 |ufdu\rangle + c_5 |udfu\rangle + c_6 |ufdu\rangle + c_7 |dufu\rangle + c_8 |dufu\rangle + \\ &+ c_9 |dufu\rangle); \end{aligned}$$

de la condición $\langle P | T-I+I+|\Delta_{3/2}^- \rangle = 0$ tenemos que

$$c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6 + c_7 + c_8 + c_9 = 0$$

Además, tenemos que la función de onda del protón debe ser totalmente simétrica; por lo tanto,

$$\begin{aligned} c_1 &= c_2 = c_3 = c_4, \\ c_2 &= c_1 = c_8 = c_6, \\ c_3 &= c_7 = c_5, \\ c_4 &= c_8 = c_6 = c_1, \\ c_5 &= c_7 = c_3, \\ c_6 &= c_9 = c_4 = c_2, \\ c_7 &= c_5 = c_3, \\ c_8 &= c_4 = c_2 = c_9, \\ c_9 &= c_6 = c_1 = c_8. \end{aligned}$$

Entonces, tenemos

$$\begin{aligned} c_1 + c_1 + c_3 + c_1 + c_3 + c_1 + c_3 + c_1 + c_1 &= 0 \\ 6c_1 + 3c_3 &= 0 \\ 2c_1 + c_3 &= 0. \end{aligned}$$

Escogiendo $c_1 = -1$, implica que $c_3 = +2$; entonces:

$$\begin{aligned} |P_{1/2}\rangle &= \frac{-1}{\sqrt{18}} (|uudf\rangle + |ufud\rangle - 2|ufdu\rangle + \\ &+ |ufdu\rangle - 2|dufu\rangle + |dufu\rangle - \\ &- 2|dufu\rangle + |dufu\rangle + |dufu\rangle). \end{aligned}$$

Aplicando I_- sobre esta función, tenemos

$$\begin{aligned} I_-|P_{1/2}\rangle &= \frac{1}{\sqrt{18}} (|dufu\rangle + |ufdu\rangle + |dufu\rangle + |dufu\rangle \\ &- 2|dufu\rangle - 2|dufu\rangle + |dufu\rangle + |dufu\rangle \\ &- 2|dufu\rangle - 2|dufu\rangle + |dufu\rangle + |dufu\rangle) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &-2|dufu\rangle - 2|dufu\rangle + |dufu\rangle + |dufu\rangle \\ &+ |dufu\rangle = |dufu\rangle \\ &= \frac{-1}{\sqrt{18}} (-|dufu\rangle + 2|dufu\rangle + 2|dufu\rangle \\ &- |dufu\rangle - |dufu\rangle - |dufu\rangle - |dufu\rangle \\ &- |dufu\rangle + 2|dufu\rangle) \\ &|N_{1/2}\rangle = I_-|P_{1/2}\rangle = \frac{-1}{\sqrt{18}} (-|dufu\rangle - |dufu\rangle + 2|dufu\rangle - \\ &- |dufu\rangle + 2|dufu\rangle - |dufu\rangle \\ &+ 2|dufu\rangle - |dufu\rangle - |dufu\rangle). \end{aligned}$$

Podemos observar que la función de onda del neutrón se obtiene a partir de la del protón fácilmente. De esta manera, podemos obtener las demás funciones de onda que pertenecen al octete a partir de la del protón y haciendo uso de los operadores I_+ , I_- , U_+ , U_- , V_+ y V_- .

No es difícil convencerse que la función de onda del protón se puede escribir como:

$$\begin{aligned} |P_{1/2}\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{1}{\sqrt{6}} (2uud-udu-duu) \frac{1}{\sqrt{6}} (2fif-fff-fff) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{\sqrt{2}} (udu-duu) \frac{1}{\sqrt{2}} (fff-fff) \right], \end{aligned}$$

ya que el producto de funciones se entiende de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\sqrt{6}} (2uud-udu-duu) \frac{1}{\sqrt{6}} (2fif-fff-fff) + \frac{1}{\sqrt{2}} (udu-duu) \frac{1}{\sqrt{2}} (fff-fff), \\ &= \frac{1}{6} (4ufuf - 2ufuf - 2ufuf - 2ufuf + \\ &+ ufuf + ufuf - 2ufuf + ufuf + ufuf) \\ &+ \frac{1}{2} (ufuf - ufuf - ufuf + ufuf) \\ &= \frac{1}{3} (2ufuf - ufuf - ufuf - ufuf \\ &+ \frac{1}{2} ufuf + \frac{1}{2} ufuf - ufuf + \frac{1}{2} ufuf + ufuf + \\ &+ \frac{3}{2} ufuf - \frac{3}{2} ufuf - \frac{3}{2} ufuf + \frac{3}{2} ufuf) \\ &= \frac{1}{3} (2ufuf - ufuf - ufuf - ufuf + 2ufuf - ufuf \\ &- ufuf - ufuf + 2ufuf). \end{aligned}$$

En la expresión factorizada de la función de onda del protón tenemos

$$|P_{1/2}\rangle \equiv \frac{1}{\sqrt{2}} [\psi_s^P X_s + \psi_A^P X_A],$$

$$\text{donde } \psi_s^P = \frac{1}{\sqrt{6}} (2uud-udu-duu)$$

$$\psi_A^P = \frac{1}{\sqrt{2}} (udu-duu)$$

$$X_s = \frac{1}{\sqrt{6}} (2|111\rangle - |11\bar{1}\rangle - |\bar{1}11\rangle)$$

$$X_A = \frac{1}{\sqrt{2}} (|11\bar{1}\rangle - |\bar{1}11\rangle).$$

El subíndice s, en las funciones de onda anteriores, está presente por el hecho de que las funciones son simétricas ante el intercambio de los 2 primeros quarks. El subíndice A se encuentra aquí por el hecho de que son antisimétricos.

Observemos que ante la operación $I_-|u\rangle = |d\rangle$, tendremos

$$I_-P_{1/2}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [I_- \psi_s^p X_s + I_- \psi_A^p X_A] = 1$$

$$I_- \psi_s^p = \frac{1}{\sqrt{6}} [2dud + 2udd - ddu - udd - ddu - dud]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{6}} [-2ddu + dud + udd]$$

$$\psi_s^p = -\frac{1}{\sqrt{6}} [2ddu - dud - udd]$$

$$I_- \psi_s^p = \psi_s^p \quad \text{y además}$$

$$I_- \psi_A^p = \frac{1}{\sqrt{2}} [ddu + udd - ddu - dud]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} [udd - dud]$$

$$= -\frac{1}{\sqrt{2}} [dud - udd] = \psi_A^p$$

$$I_- \psi_A^p = \psi_A^p.$$

Por lo tanto, es fácil construir el octete en términos de las funciones de onda ψ_s , ψ_A , ψ_s y ψ_A .

A partir del octete podemos construir un singlete ante SU(3), es decir, una función de onda totalmente antisimétrica frente a SU(3) de sabor. Tiene que estar formada por 3 quarks distintos, ya que si hubiera alguno repetido no sería totalmente antisimétrica. Al mismo tiempo, de acuerdo con el esquema anteriormente expuesto, la función de onda de espín tiene que ser antisimétrica para que el producto sea totalmente simétrico. La siguiente expresión es totalmente antisimétrica bajo el intercambio de cualesquier par de quarks:

$$\psi_A^s = \frac{1}{\sqrt{6}} (uds - dus - sdu + sud + dsu - usd).$$

Sin embargo, en el caso de la función de espín no podemos construir una función totalmente antisimétrica de tres espines, dado que el grupo es SU(2). Por lo tanto, solamente podemos construir un singlete de SU(2) de sabor. Por ejemplo:

$$\psi_A = \frac{1}{\sqrt{6}} (uds - dus) + \frac{1}{\sqrt{6}} (sud - sdu) + \frac{1}{\sqrt{6}} (dsu - usd).$$

Entonces,

$$\psi_A X_A = \frac{1}{\sqrt{12}} (uds - dus) (|111\rangle - |1\bar{1}\rangle) + \frac{1}{\sqrt{12}} (sud - sdu) (|1\bar{1}\rangle - |\bar{1}1\rangle) +$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{12}} (dsu - usd) (|\bar{1}1\rangle - |\bar{1}\bar{1}\rangle)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{12}} (u\bar{d}s\bar{1}\bar{1} - u\bar{d}\bar{1}s\bar{1} - d\bar{u}s\bar{1}\bar{1} + d\bar{u}\bar{1}s\bar{1} +$$

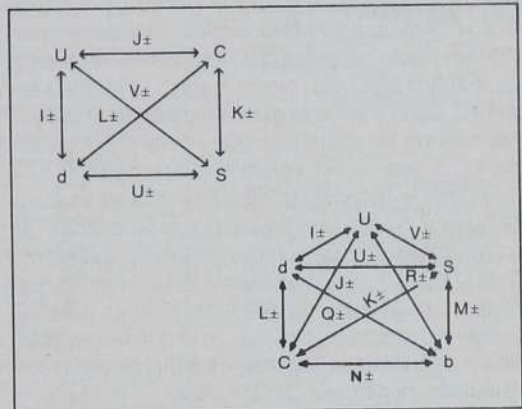
$$+ s\bar{u}\bar{1}\bar{d}1 - s\bar{u}\bar{1}\bar{d}1 - s\bar{1}\bar{d}d1 + s\bar{1}\bar{d}u1 + d\bar{1}s\bar{u}1 - d\bar{1}s\bar{u}1$$

$$- u\bar{1}s\bar{d}1 + u\bar{1}s\bar{d}1)$$

$$\equiv |\Lambda_{1/2}\rangle.$$

De esta manera queda el octete completamente formado.

El siguiente objetivo será el de obtener las funciones de onda de bariones formados por quarks pesados del tipo c, b y t. Sin embargo, estas funciones de onda pueden ser obtenidas fácilmente si hacemos uso de las operadores que cambian sabor. Podemos extender el esquema para obtener los siguientes diagramas:



En total tenemos 20 operadores que nos transforman unos quarks en otros si incorporamos solamente los quarks pesados c y b. Mediante la aplicación de estos operadores podemos construir, por ejemplo, bariones que contengan quarks pesados.

Propiedades de bariones

Una vez obtenidas las funciones de onda de los bariones se pueden calcular algunas propiedades físicas y compararlas con el experimento. Desafortunadamente, no existen muchos datos experimentales de bariones que contengan un quark pesado del tipo *c* o *b*. Esto se debe, principalmente, al hecho de que existen pocos recursos dedicados a investigar esta área particular de la física de altas energías. Aun así, se han calculado los momentos magnéticos de los bariones incluyendo aquellos que contienen algún quark del tipo *c*. En la tabla 3 se dan las expresiones de los momentos magnéticos de los bariones con quarks del tipo *u*, *d*, *s* y *c*, en términos de los momentos magnéticos de los quarks. La discrepancia con el experimento es de un 20% o menor; por lo tanto el modelo de quarks constituye una muy buena aproximación de la realidad. Sin embargo, la discrepancia es aún uno de los problemas actuales por resolver. Se han hecho esfuerzos en varias direcciones para mejorar las predicciones teóricas y además se han medido con mucha precisión los momentos magnéticos de los bariones no-encantados.

Es muy probable que en el futuro exista gente que se dedique a mejorar las predicciones teóricas como rama profesional de la física de altas energías, a pesar de correr el riesgo de la gente que se dedica a la física nuclear, donde sólo se pueden hacer modelos que aborden el problema de muchos cuerpos. No obstante, el modelo de quarks sigue siendo la guía principal en el entendimiento de las partículas que interactúan fuertemente, o sea, en el estudio de los hadrones.

Podemos recapitular diciendo que el modelo de quarks predice las siguientes propiedades de los hadrones: carga, número bariónico, multiplicidades, espín y, con muy buena aproximación, las masas y momentos magnéticos. Esto es más de lo que le podemos pedir a un modelo que está basado en ideas relativamente simples y que fue formulado hace más de 20 años.

Referencias

Libros de divulgación:

1. P. Davis, **Superfuerza**. Ed. Salvat.
2. A. Pickering, **Constructing Quarks**. Edinburgh Press, 1984.

3. E. Segré, **De los rayos X a los quarks**. Folios Ediciones.
4. J.S. Trefil, **De los átomos a los quarks**, Ed. Salvat.

Libros especializados:

1. T.D. Lee, **Particle Physics and Introduction to Field Theory**, Harwood Academic Publishers, 1981.
2. D.B. Lichtenberg, **Unitary Symmetry and Elementary Particles**, Ed. Academic Press, New York 1970.
3. L.B. Okun, **Particle Physics: the quest for the substance of substance**, Harwood Academic Publishers 1985.



Roberto de la Maza
Ramírez

MARIPOSAS MEXICANAS



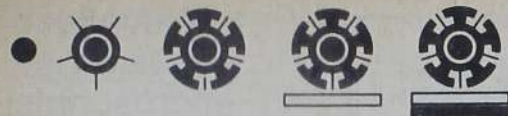
- Clasificación
- Morfología
- Colecta • Sexo
- Montaje y conservación de especies
- Determinación • Localización
- Catálogo taxonómico de la lepidoptero fauna diurna mexicana.

Esta edición incluye láminas, mapas, dibujos y una profusa documentación fotográfica.

De venta en librerías y tiendas
de autoservicio



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA



Octubre



El Premio Príncipe Asturias, al Dr. Pablo Rudomín

La Fundación Principado de Asturias, con sede en la ciudad de Oviedo, España, decidió otorgar este año su Premio Príncipe Asturias en la modalidad de Investigación Científica y Técnica al Dr. Pablo Rudomín, profesor titular e investigador del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, por su contribución al conocimiento de los meca-

nismos de transmisión de información en el Sistema Nervioso Central, en particular sinapsis aferentes, la relación entre elementos celulares únicos y la población a la que pertenecen, así como la interacción entre las neuronas y las arborizaciones terminales de fibras sensoriales, y la participación del ácido gamma-aminobutírico en los mecanis-

mos de control presináptico. Cabe hacer notar que el Premio fue compartido con el parasitólogo venezolano Dr. Jacinto Javit, a quien se le distinguió por sus contribuciones al conocimiento de importantes enfermedades infecciosas y parasitarias, en especial la inmunopatología de la lepra.

Se llevó a cabo simposio internacional sobre matemática y lengua escrita

Como parte de los festejos por los quince años de investigaciones educativas, se llevó a cabo un simposio internacional sobre los inicios de la representación gráfica en matemáticas y lengua escrita. Junto a diversos investigadores del Departamento de Investigaciones Educativas, participaron personalidades de Italia, España, Brasil y Venezuela. El evento fue organizado por la Dra. Emilia Ferreiro, del DIE, bajo los auspicios de la Fundación Kellogg y el Cinvestav.

Convenio con General Popo

Gracias al Programa México de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, la empresa General Popo S.A. de C.V. ha hecho un donativo al Centro para investigación tecnológica en el área de Biotecnología.

Contrato con la SCT

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes firmó un contrato con el Centro a fin de que investigadores del Departamento de Ingeniería Eléctrica lleven a cabo un estudio para el diseño de circuitos integrados a gran escala para telecomunicaciones multiplexor PCM de segundo nivel jerárquico.

El Centro asesora a la UJAT en sus programas de investigación y docencia

En el marco del "Proyecto de excelencia y superación académica. Hacia una reforma de la Universidad 1985-1988", el Centro ha firmado un convenio de colaboración con la Universidad "Juárez" Autónoma de Tabasco, a fin de elaborar anualmente programas específicos de trabajo en áreas de mutuo interés, como son, entre otras, intercambio y formación de personal académico e intercambio de información científica y tecnológica, así como realización de proyectos de investigación.

Premio Nacional de Investigación en Alimentos 1987, a la Dra. Mayra de la Torre-Louis y al Dr. Luis Herrera Estrella

Las secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Educación Pública, Pronal, Conacyt y Conasupo entregaron este mes los premios nacionales de Investigación en Alimentos correspondientes a 1987. En el área de Bioingeniería fue premiada la Dra. Mayra de la Torre-Louis y colaboradores, por su trabajo sobre el desarrollo de una tecnología de punta para la producción de levadura de tórrula en melazas. La Dra. de la Torre-Louis dirige la Planta Piloto de Fermentaciones del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. También fue premiado el Dr. Luis Herrera Estrella, profesor titular e investigador y coordinador del área de Ingeniería Genética de la Unidad Irapuato, en el área de Biología Vegetal Moderna, por su trabajo, junto con sus colaboradores, en el desarrollo de la metodología para la introducción del material genético en frijol, mediante infección con *Agrabacterium tumefaciens*.

Asesora el DIE proyecto experimental en Perú

El Departamento de Investigaciones Educativas ha firmado un acuerdo bilateral con la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) de Eschborn, Alemania Federal, para evaluar en términos parciales un proyecto de educación bilingüe en la enseñanza primaria de la región de Puno, Perú.

Se firmó convenio con Conafe

El Centro ha firmado un convenio con el Consejo Nacional de Fomento Educativo para que el Departamento de Investigaciones Educativas asesore a la Subdirección de Desarrollo de Conafe respecto al trabajo que realizan diversos investigadores en proyectos de lecto-escritura.

Noviembre

Premio Nobel de visita en el Centro

El Dr. Klaus von Klitzing, director del Instituto Max Planck

Novedoso sistema de microscopía óptica por video

Un sistema de video de microscopía de alta resolución, único en México, se encuentra instalado en el área biológica del Cinvestav. Una combinación de cámaras acopladas a un microscopio ofrece video-micrografías de óptima calidad, mediante las que se puede observar estructuras diminutas en células que tradicionalmente se miran a través del microscopio electrónico, con la ventaja de que se puede grabar el experimento sin necesidad de procesar las muestras, lo cual protege la integridad de las células. Este sistema ha dado frutos recientemente, ya que el pasante de Biología Francisco García Sierra, de la ENEP Iztacala, que elabora su tesis sobre movimientos intracelulares de organelos en células nerviosas bajo la dirección del Dr. Eugenio Frixióne, profesor titular e investigador de los departamentos de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, y de Biología Celular del Centro, recibió una mención honorífica en el IV concurso de fotografía científica que convoca el Centro Universitario de Comunicación de la Ciencia.

de Física del Estado Sólido en Stuttgart y Premio Nobel en Física 1985 por su descubrimiento del efecto Hall cuántico en 1980, impartió una conferencia en el Centro el día 16 de noviembre.



Se llevó a cabo un curso sobre síntesis, estructura y función de proteínas

Diversos especialistas en el campo impartieron un curso teórico-práctico entre el 30 de noviembre y el 4 de diciembre en la Unidad de Química y Estructura de Proteínas del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, sobre síntesis, estructura y función de las proteínas. Dicho curso fue patrocinado por la Unidad Coordinadora de Proyectos Estratégicos de la SEP, el Cosnet y el Centro.

Primer curso internacional de sistemas expertos

El Centro, a través de su Departamento de Ingeniería Eléctrica, y en colaboración con la Universidad Técnica Checa y la Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe, organizaron entre el 9 y el 13 de noviembre el primer curso internacional de sistemas expertos. Con la participación de sobresalientes investigadores en el campo, el curso se propuso dar a conocer el avance tecnológico de los sistemas expertos, estudiar los fundamentos teóricos y sus aplicaciones, así como capacitar a los asistentes para realizar un trabajo ulterior personal en el área de los sistemas expertos.

Homenaje al Dr. Pablo Rudomín

A propósito de su reciente reconocimiento internacional, a través del Premio Príncipe de Asturias, la Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas organizó un homenaje en el auditorio del Cinvestav a la labor desarrollada por el Dr. Rudomín, quien es profesor titular e investigador del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias. El lector interesado podrá encontrar un ameno artículo en *Avance y Perspectiva* núm. 30, Primavera de 1987, donde el Dr. Rudomín resume sus primeros 25 años de intensa investigación científica.

El Premio Javed Husain para científicos jóvenes, al Dr. Luis Herrera Estrella

Durante su 24 Conferencia general, que se llevó a cabo en París, la UNESCO concedió por vez primera este premio gracias a un donativo del propio Dr. Javed Husain. El ganador, Dr. Luis Herrera Estrella, profesor titular e investigador y coordinador del área de Ingeniería Genética de la Unidad de Irapuato, es un brillante especialista en ingeniería genética vegetal. Desde su estancia en la Universidad

Estatad de Ghent, él y sus colaboradores fueron los primeros en reportar con éxito la transferencia y expresión de genes extraños (de origen bacteriano) en plantas. Esto abrió la posibilidad de explotar estas técnicas para el mejoramiento de importantes especies vegetales en beneficio de la agricultura y ayudó a la comprensión de las funciones regulatoria y de desarrollo de las plantas. Además, su traba-

jo en el desarrollo de genes marcadores que pueden ser proyectados y seleccionados para su uso en sistemas de transformación de células vegetales ha sido fundamental para el avance de los sistemas de transformación en plantas monocotiledóneas y sistemas que involucran la transferencia directa de ADN y la transformación de las células vegetales.



Relación de nuevos proyectos que cuentan con financiamiento adicional externo Octubre-noviembre 87

Departamento de Biología Celular



Conacyt

Dirección Adjunta de Formación de
Recursos Humanos

Proyecto

Apoyo para el fortalecimiento de la maestría y doctorado en biología celular.

**Investigador
responsable**

**Dra. Gpe. Mireya de la
Garza-Amaya**

Departamento de Farmacología y Toxicología



Conacyt

Dirección Adjunta de Desarrollo
Tecnológico

Proyecto

Asimilación para su aplicación a la construcción de instrumentos biomédicos de la tecnología usada en el proyecto bramex 1, para el diseño y construcción de mascarillas para la fabricación...

**Investigador
responsable**

**M.C. Joaquín Remolina-
López**

Conacyt



Dirección adjunta de Asuntos
Internacionales

Sistemas de transporte iónicos en membranas epiteliales clásicas y en epitelios sincitiales. (México-Argentina)

**Dra. Marisabel
Mourelle-Mancini**

Cosnet



Modulación por catecolaminas de las propiedades de permeabilidad del músculo esquelético a los iones potasio.

**Dr. Jorge A. Sánchez-
Rodríguez**

Desarrollo de un paquete tecnológico para el estudio y caracterización de la biomecánica ocular.

**M.C. Ernesto Suaste-
Gómez**

Departamento de Física

Fondo Ricardo J. Zevada

Proyecto

Caracterización de las propiedades ópticas de películas delgadas de diamante amorfo utilizando espectroscopia Raman y fotoluminiscencia.

**Investigador
responsable**

**Dr. Jesús González-
Hernández**

Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias



Conacyt

Dirección Adjunta de Asuntos Internacionales

Proyecto

Modificaciones inducidas en la actividad de células renales en cultivo por neurotransmisores, neuropéptidos y factores natriuréticos (hipotalámico y atrial) (México-Argentina).

Investigador responsable

Dr. Marcelino Cerellido-Mattlioli

Departamento de Genética y Biología Molecular



Cosnet

Proyecto

Manipulación de DNA, recombinante de virus de DNA y RNA y de oncogenes celulares.

Investigador responsable

Dr. Carlos Fernández-Tomas
Dr. Patricio Gariglio-Vidal

Departamento de Ingeniería Eléctrica



Conacyt

Dirección Adjunta de Formación de Recursos Humanos

Proyecto

Apoyo para el fortalecimiento de la maestría y doctorado en ingeniería eléctrica. Opción procesamiento de señales.

Investigador responsable

Dr. Arturo Veloz-Guerrero
Dr. Hugo Sánchez-Salguero

Departamento de Química

Cosnet

Proyecto

Programa de especialización en química orgánica.

Investigador responsable

Dra. Rosalinda Contreras-Theurel
Dra. Angeles Paz-Sandoval

Unidad Irapuato

Conacyt

Dirección Adjunta de Desarrollo Científico

Proyecto

Estudio de factores que inciden en la producción y calidad de maíz y frijol en la zona del Bajío.

Investigador responsable

Dr. R. Ariel Alvarez-Morales

Conacyt

Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico

Aumento de la productividad de los suelos de la Mixteca Oaxaqueña mediante la explotación de la fijación biológica de nitrógeno.

Dr. Juan José Peña-Cabral

Caracterización y control de la síntesis de proteínas de reserva de las células de aleurona de trigo y cebada.

Dr. Luis E. González-De la Vara

Otras Instituciones

Utilization of molecular markers to assess the role of heterozygosity in yield performance of maize varieties. (F. Rockefeller).

Dr. Alejandro Blanco-Labra

Unidad Mérida

Cosnet

Proyecto

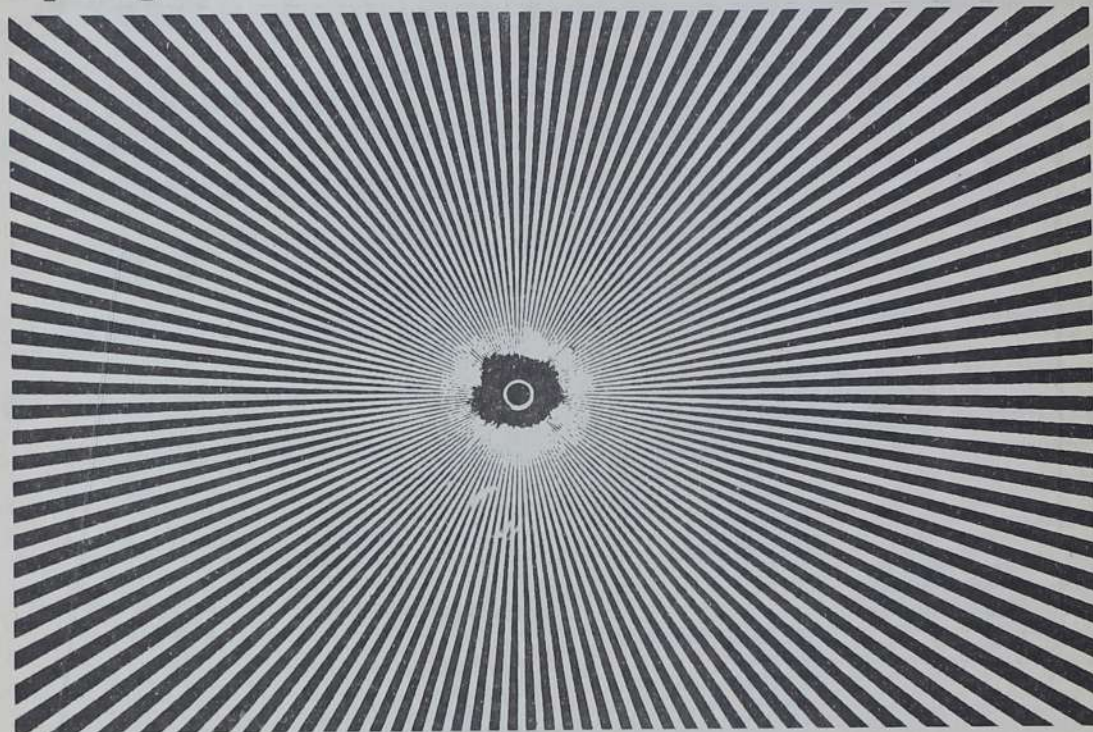
IX Congreso Nacional de Zoología.

Investigador responsable

BIOL. Guadalupe Mexicano-Cintara
M.C. Silvia Salas-Márquez

Epílogo

Eugenio Frixione



La figura de McKay.

Puede afirmarse, con toda certeza, que las quince mil páginas precedentes constituyen el testimonio autobiográfico más completo y exacto que se haya puesto sobre papel. No cabe duda al respecto. Porque cuando la redacción de memorias era todavía algo habitual nadie hubiera sido capaz de incluirlo todo, desde las más tempranas reminiscencias intrauterinas hasta los últimos vestigios de la experiencia consciente justo en el momento de expirar. Y después, a partir de la época en que los bancos de memoria integral fueron puestos al alcance de todos, nadie más se ha echado a cuestras la tarea de vaciar su historia en un vehículo tan deleznable y engorroso como es el papel. A mí, sin embargo, no me ha quedado más alternativa que recurrir a este medio

arcaico para dejar un registro permanente de mi identidad. Puesto que el origen del documento podría parecer confuso si no explicara las circunstancias que me obligaron a elaborarlo, agregaré sólo un par de palabras sobre ciertos incidentes posteriores a mi muerte.

Empezaré por reconocer que la transferencia fue tan suave como prometían las cláusulas del contrato. Simplemente en un momento me encontraba tendido en la plancha del disociador —como ya dije, en un estado de absoluta lucidez pero incapaz de mover un solo músculo a causa de los sedantes—, y al instante siguiente escuché con toda claridad la cascada voz de Olga, que me esperaba en casa acompañada por nuestros hijos sentados frente a la cabina holográfica. Todos opinaron que los rasgos y la dinámica de mi imagen eran realmente estupendos. Por mi parte, de inmediato aprecié las enormes ventajas del sistema interactivo, pues en efecto la nueva tecnología permitía conferenciar con los interlocutores y añadir más datos a la memoria apenas

El doctor Eugenio Frixione es profesor titular e investigador de los departamentos de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, y de Biología Celular.

consumada la transferencia. La innovación constituía un adelanto verdaderamente notable sobre los mejores sistemas de depósito fijo y pasivo disponibles hasta entonces, por lo que a pesar de mi persistente desconfianza no me arrepentí por el gasto que representó ponerme a la moda en este renglón final. La primera información post-mortem que asimilé de manera oficial fueron las diligencias reglamentarias que se practicaron con mi cuerpo. Una vez desconectadas las terminales del mnemocaptor, los propios técnicos de la Sección G se encargaron de la extirpación y el envasamiento de los órganos útiles que marcaba la ley, así como de la desintegración total del resto en presencia de varios miembros de la familia y otros allegados. Mi primer mensaje hacia el exterior —que por sí mismo daba constancia legal del perfecto funcionamiento del módulo interactivo— consistió en manifestar mi conformidad con el término de los procedimientos.

Fue un alivio contar con la certidumbre de que ninguna molestia corporal podría ya afectarme, aunque, por otro lado, no fue fácil resignarse a la artificialidad de la nueva situación, desprovista por completo de impresiones táctiles. Habrían de transcurrir todavía varios decenios antes de que aparecieran los modelos que incluían dicha posibilidad, y por lo tanto mi contacto con el exterior se reducía a los canales ordinarios de visión y audición. Recuerdo haber comparado la ambivalencia de mi condición con la de los portadores de prótesis —desde dentaduras postizas hasta genitales sintéticos— que tan curiosos nos parecían al revisar los estilos de vida en siglos anteriores; no más padecimientos con tales refacciones, a cambio de pobres remedos del espectro de sensaciones. No obstante, gradualmente conseguí habituarme a las restricciones de la permanencia indefinida como memoria pura, dentro de mi entonces flamante módulo de circuitos luminosos. Al principio mantenía una comunicación regular con Olga y los hijos, pero poco a poco la avanzada edad de la primera y las atareadas existencias de los segundos condujeron a una disminución en la frecuencia de las entrevistas. Era lo normal y esperado. Se suponía que yo debía procurar un empleo creciente de las vías internas para establecer un buen contacto con los otros módulos de la memoria familiar, y así lo hice.

Durante los primeros años tuve que avenirme al hecho de que la mayoría de los otros módulos presentes no eran interactivos. Difícilmente podía llamarse compañía a la generación de mis padres pues, a pesar de estar alojados en los más novedosos sistemas de su época, se concretaban a contestar cuestiones sobre sus vidas como rígidos catálogos por fechas. Más que nunca lamenté que René, aquel pintoresco bisabuelo de quien heredé el nombre, hubiera quedado almacenado en uno de esos antiguos artefactos electrónicos, tan lento que era preciso aguardar dos o tres segundos antes de que atinara a regurgitar un dato cualquiera acerca de su infancia. Por supuesto las cosas cambiaron mucho a medida que comenzaron a instalarse nue-

vos módulos interactivos. Desde que llegaron Olga y, al poco tiempo, Ciro (mi hermano, porque Ciro el tío tampoco alcanzó a contar con un módulo interactivo pese a su gran longevidad), disfrutamos de una buena temporada. Pero luego recibimos a mis cuñados y a otros más, y el ambiente se tornó demasiado gregario para mi gusto. Para entonces se habían introducido ya los juegos para interactivos y la parentela se aficionó al krot, un cretinizante pasatiempo con capacidad para hasta cuarenta participantes. Por esas mismas fechas se propagaron también las redes de comunicación múltiple entre memoriotecas, y todo mundo se dedicó a ampliar su círculo de amistades. En principio este conducto me ofrecía una oportunidad ideal para reanudar la relación con Dora y explorar sus perspectivas en un plano ya desencarnado. Pero tanto su marido como Olga estaban ahora en posibilidad de descubrir de inmediato lo que en vida jamás habían sospechado; hubiera sido como besarse en la plaza pública. El riesgo de turbar la paz eterna me pareció inadmisibles. Así pues, acabé por aprovechar el bullicio de la interminable tertulia para marginarme con el pretexto de estudiar en Omnidata, a fin de actualizarme sobre los más diversos asuntos históricos, científicos y literarios. Dada mi reputación de excéntrico, al principio todos parecieron congratularse por mi decisión.

Por desgracia esta indiferencia acerca de mis actividades no duró más que algunas décadas. Como cualquiera podía haber pronosticado, el júbilo de la fiesta continua entre módulos interactivos se agrió muy pronto. Con todas las posibilidades abiertas para un trato incesante —sin interrupciones obligadas para alimentarse, dormir o trabajar—, no tardaron en renacer las antiguas rivalidades sembradas en vida, y a éstas se añadieron nuevas envidias y discrepancias, hasta que una insidiosa ola de enemistades cundió por los congestionados circuitos de nuestro hogar. A la vuelta de mi primer siglo en el sagrado recinto, la situación era ya un infierno. Cada cual albergaba algún resentimiento contra todos los demás, y el aislamiento se convirtió en un problema creciente. Los esfuerzos de Control Central para proporcionar remedios contra el aburrimiento en las memoriotecas fueron muy insuficientes. Se intentaron numerosos programas de diversión masiva, así como ingeniosos entretenimientos solitarios de toda índole, pero el atractivo de tales recursos fue siempre fatalmente transitorio. Sólo unos cuantos con vocación de anacoretas, quienes cultivábamos alguna afición inagotable e independiente, permanecimos libres de esta inexorable inundación de tedio.

Empezó entonces una feroz competencia por la única fuente de auténtica novedad: la comunicación con los vivos. Naturalmente, éstos no disponían del tiempo necesario para acudir con frecuencia a la memorioteca, y cuando lo hacían era tan de prisa que ni siquiera se sentaban frente a la cabina holográfica. Se limitaban a accionar el conmutador para saludar precipitadamente a cinco o seis residentes al azar, y aprovechaban la

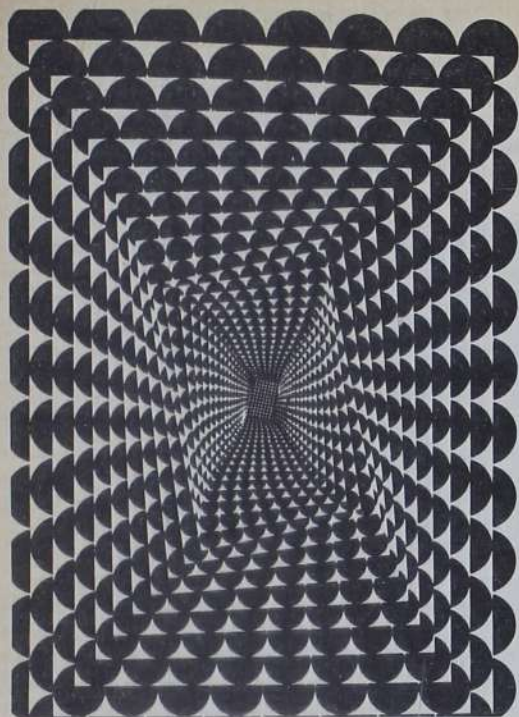
oportunidad para pedirles que transmitieran sus recuerdos a todos los demás. Nunca tenía lugar una auténtica conversación. ¿Quién iba a buscar un intercambio de noticias con un atajo de ancestros aburridos, sólo para que les platicaran insulsas anécdotas de sus "buenos tiempos"? ¿Necesitaba alguien pasarse toda una tarde escuchando a la tía Sara preguntar por la salud de sus tataranietos, y repetir hasta el cansancio cómo eran las cosas en los años cuando tomaba casi media hora para recorrer los cuatrocientos kilómetros entre la casa y la oficina, a bordo de aquellos ruidosos monomóviles supersónicos? ¿Se sentarían pacientemente nuestros choznitos para recibir consejos de nuestros nietos acerca de cómo avanzar dentro de la Corporación, como si ésta fuera todavía la tranquila y comprensible comunidad de setecientos millones de empleados que ellos habían conocido? Así, pasaban lustros antes de que alguien convocara para una fugaz entrevista a mis contemporáneos o a nuestros descendientes ya transferidos, y la desesperación colectiva a causa de la soledad y el abandono se tornó insufrible.

No será difícil comprender, por lo tanto, el rencor que suscitó mi popularidad entre los jóvenes. Y es que cuando me di cuenta de que sólo por medio del ingenio conseguiría atraer su atención, me propuse experimentar con toda clase de estratagemas tendientes a provocar que se marcara la clave de mi módulo en el conmutador. No tuve que esforzarme demasiado para dar con el incentivo ideal, y un mínimo de ejercicio me bastó para lograr una destreza magistral en su manejo. Luego de probar suerte como instructor arqueoculinarario y como antologista de cuentos verdes de todas las eras, encontré el éxito como consejero amoroso de la estirpe. Ningún dramaturgo ha sabido explotar con mayor provecho la bendición de que en esta materia la humanidad jamás aprende ni pierde el interés. Con base en mi propia experiencia, complementada con las innumerables lecciones que ofrece la bibliografía universal sobre el tema, más lo aprendido mediante algunos ensayos prácticos con mis nietos y bisnietos, pronto conseguí que todos los descendientes que atravesaban por edades entre los ocho y los ochenta años acudieran a solicitar mi asesoramiento para resolver sus anodinos lances afectivos. Les pedía que describieran toda la situación con la mayor fidelidad, a fin de determinar tanto la variedad como el grado del prototipo aplicable, y a continuación les prescribía planes de acción igualmente detallados. En general mis pupilos se daban por bien servidos con una mezcla trivial de recomendaciones inspiradas en el comportamiento galante del siglo XVIII, elementos banales de humor latino, y las más trilladas técnicas que pueden encontrarse en los Kama Sutra. Pero puesto que el móvil principal de todo el asunto era procurar alguna diversión instructiva para su servicial y modesto antepasado, una vez establecidos los fundamentos generales intenté alcanzar el mayor refinamiento posible en mis funciones. Así, introduje sutilezas derivadas de la etología determinista y de toda nueva

aportación de la fisiología sensorial que pudiera ponerse en juego, sobre todo a partir de los espectaculares avances en el campo de la percepción cutánea y mucosal, y de la corroboración de los postulados de Karl Bunz sobre la teoría cuántica de la libido. En particular, los mapas de distribución corporal de las distintas clases de terminales nerviosas según el genotipo, con las tablas de sus patrones de estimulación óptima —curso temporal de variaciones en intensidad, direccionalidad preferente, secuencias rítmicas idóneas, intermodulación cerebral por sinergias audiovisuales, fármacos de potenciación específica y su dosificación, etc.—, me sirvieron para confeccionar rutinas personalizadas que fueron calificadas como obras de arte por sus beneficiarios. Al cabo de dos o tres generaciones acabé por cimentar un sólido prestigio como preceptor erótico, que se extendió no sólo entre mis descendientes, sino también entre sus amistades y otras gentes de su confianza.

Salvo por los escasos parientes no-interactivos, que no tenían cómo enterarse, todos en la memorioteca anatematizaron lo que dieron en considerar como una profanación del sanctum familiar. ¡Hipócritas! En el fondo no había más que una envidia corrosiva por mi supuesto "monopolio" de la cabina holográfica. Todos ellos ansiaban que alguien acudiera a marcar las claves de sus módulos para insertar cualquier pequeña novedad en sus descomunales reservas de memoria desaprovechada. Al verse frustrados, mitigaban su decepción transformándola en inquina contra un apacible analista de la conducta humana. Porque mi único pecado consistía en que se me había ocurrido cultivar una ocupación refractaria al paso del tiempo, y así continuaba siendo útil para las nuevas generaciones, mientras ellos desperdiciaban año tras año en rondas de krot. ¡Y vaya ingratitud! Aun aquellos que en su momento habían acudido a pedirme orientación para sus correrías sentimentales sin verse defraudados, después de muertos hacían causa común con el resto del clan. Uno de mis tataranietos intentó hacerme la competencia, pero el infeliz carecía de la experiencia propia que es preciso adquirir en vida para poder extraer luego toda la ventaja posible de la información acumulada durante milenios por la especie. Después de varios fracasos estrepitosos de algunos de sus propios bisnietos por seguir sus románticas recomendaciones, nadie volvió a consultarlo. Entonces se convirtió en uno de mis más acérrimos enemigos.

El odio colectivo creció cuando corrió el rumor de que varios amigos de mis octanietos tramaban copiar-me en módulos clandestinos, para poder recurrir a mis servicios en sus propias memoriotecas. Aunque este delito era castigado con la pena mayor —los culpables de hacer copias no autorizadas podían ser sentenciados a no transferirse en el momento de morir—, parecían estar resueltos a jugársela. El plan no se llevó a cabo tan sólo porque me opuse terminantemente, debido a una razón muy sencilla. Una vez hecha la primera copia



Jeffrey Steele, Baroque Experiment. Fred Maddox (1962-63).

vez hasta convertirse en algo alarmante. Olvidé largos pasajes del Arcipreste de Hita, recomendaciones de Ovidio, estadísticas levantadas por sexólogos de los siglos XX y XXI, páginas enteras de Walter (el de "Mi Vida Secreta", por supuesto, qué otro) y preciosas recetas del Yu Fang Mi Chueh, para citar sólo algunos ejemplos notables. La falla estaba ahí, repitiéndose, y no cabían muchas dudas acerca del destino que me aguardaba.

Tenía dos opciones: 1) reservarme la pena de la avería y sufrir un deterioro progresivo que pronto me llevaría a quedar arrumbado como todos los demás; y 2) dar aviso a Control Central, en cuyo caso se procedería a vaciarme como versión resumida en un módulo no interactivo, pues para entonces los problemas acarreados por la ociosidad en las memoriotecas interactivas habían alcanzado proporciones inmanejables, y se aprovechaba cualquier oportunidad para disminuir el número de opiniones independientes, en particular si se trataba de memorias con más de dos siglos de antigüedad que ya jamás eran visitadas. Cabía la posibilidad de apelar esta decisión, invocando a mi favor la elevada frecuencia de entrevistas que me distinguía; pero esta misma característica hubiera sido causa suficiente para que se dictaminara mi traslado a un módulo no interactivo, una vez que se indagaran las razones de esta inusitada preferencia por los vivos, y sus efectos sobre los otros miembros de la memorioteca.

Resolví hacer frente a la amenaza de la manera más discreta y racional posible. Ofrecí a Rita que la convertiría en mi discípula predilecta, en un prodigio capaz de poner a sus pies el mundo entero, si me daba una mano en un audaz juego de acrobacias. Se trataba de que me ayudara a intercambiar lugares con Ada, su tatarabuela instalada en un magnífico módulo pansensorial casi sin usar. Ada no pondría objeciones, porque mi infortunada heptaneta había perdido el juicio cuando, durante la última Guerra de Andrómeda, su hijo falleció repentinamente sin que fuera posible transferirlo. A partir de entonces se había pasado el resto de sus días conversando incoherencias con una cabina holográfica vacía. No obstante, cuando ella a su vez agonizaba, el marido insistió en que fuera transferida a uno de los más modernos módulos disponibles, precisamente el mismo que ahora ocupo. Aquí había residido durante un siglo y medio, empleando el dos por ciento de la memoria total en dar vueltas a sus inconexos recuerdos y "hablando" con su hijo sin que nadie —vivos o transferidos— volviera a interesarse por ella. Mi plan de intercambio, por consiguiente, no perjudicaría a nadie y aseguraría mi asesoramiento para incontables generaciones futuras. El procedimiento era relativamente sencillo desde el punto de vista técnico, pero por su naturaleza ilícita tuvo que ser efectuado de manera solapada y para ello no bastó con la colaboración de Rita. Alguien tenía que activar por fuera las líneas alternas de acoplamiento intermodular, mientras ella acaparaba la atención de la memorioteca convocando a algunos de sus

ilegal, nada garantizaba que no empezara yo a circular en el mercado negro, junto a estafadores famosos, ciertos políticos y numerosas estrellas de la farándula. Entonces Control Central procedería a borrar todos mis ejemplares, incluyendo el original. Amenacé a mis octanietos con callar definitivamente ante la menor sospecha de cualquier conexión irregular en las terminales de mi módulo, y nadie se atrevió a enfrentar el desafío. Pero esta muestra patente de aprecio extendido enfureció todavía más a mis resentidos compañeros de la memorioteca.

A pesar de la hostilidad general, todo podría haber continuado igual por tiempo indefinido si no se hubiera presentado un pequeño imprevisto. El síntoma inicial consistió en un olvido momentáneo, ese accidente tan común cuando la memoria opera en su alojamiento original de tejido nervioso. Al parecer, el uso casi constante de mi módulo a toda su capacidad resultó en un desbalance intermitente de una de las celdas de tercera etapa en la serie epsilon. Pero dejemos de lado los aspectos técnicos, pues son irrelevantes. El caso es que en una ocasión, al plantear un modelo de tácticas clásicas para una de mis dodecanietas —Rita, una criatura exquisita y bastante inteligente para sus diez años— no pude recordar cierto episodio de Casanova. El obstáculo desapareció por sí mismo a los pocos milisegundos, pero fue el comienzo de una tortura atroz. Incidentes similares, pero más duraderos, ocurrieron una y otra

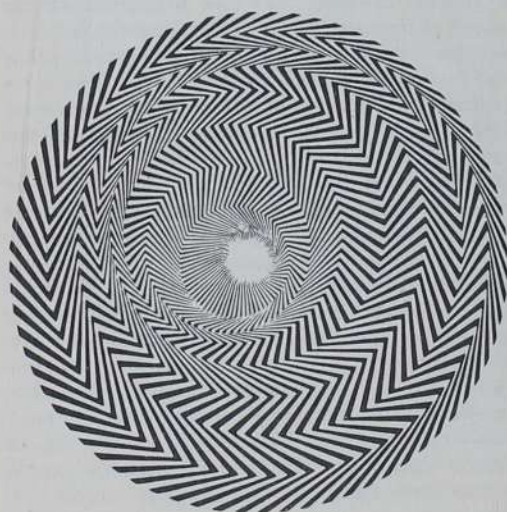
miembros más desatendidos. Nuestro cómplice fue su amante, un rapaz a quien sólo se pidió oprimir dos teclas a cambio de una noche de amor inolvidable.

Inexplicablemente las cosas no marcharon bien. La fresca lucidez que experimenté en el módulo de Ada se ensombreció tan pronto como me di cuenta de que mi dodecanieta no encontraba a su tía-tatarabuela. No tenía respuesta al marcar la clave de mi módulo anterior; la desolada imagen de Ada conversando con su hijo no aparecía en la cabina. Tampoco yo pude hallarla a través de los canales internos. Al final del ramal que conectaba con mi módulo original había un espacio mudo. Fue horrible; un billón de mnemones apagados, ni el menor destello de contenido. Ada se había esfumado y mi propio fin era inminente. En cualquier momento Control Central detectaría el módulo inerte, y se haría una instantánea investigación. Se descubriría el traslado ilegal, y los testimonios de mis compañeros serían adversos o indiferentes a mi defensa. Por fortuna Rita era aún menor de edad —faltaban todavía dieciséis meses para que cumpliera los doce años—, y su responsabilidad jurídica no ameritaba la pena mayor. Era casi seguro que, por consideración a su juventud, el castigo se limitaría a ser transferida anticipadamente a un sistema interactivo —quizá a mi actual módulo, es decir, al que ocupaba Ada— y a liquidar su existencia orgánica para prevenir nuevos intentos de manipulación criminal de memoriotecas. En cuanto a su solícito amigo, no había manera de comprobar su participación en el delito.

Todo sucedió como era previsible a raíz del accidente. Se me condenó a ser borrado en totalidad. Sin embargo, por un golpe de suerte se dictaminó que el proceso sería gradual y ordenado cronológicamente, a fin de darme una oportunidad para congraciarme con mis allegados y descendientes antes de desaparecer. Para evitar desórdenes, durante cada fase quedaría incomunicado de todas las memorias que no correspondieran a la época en turno. Esto me facilitó las cosas, porque sobra decir que no estaba para desperdiciar un tiempo tan valioso granjeándome simpatías innecesarias. Fue entonces cuando urdí valerme de un artefacto conservado como pieza de museo entre el equipo de la memorioteca. Se trataba de un decrépito inscriptor láser de signos gráficos sobre papel, que cierto miembro de la familia aficionado a las antigüedades había conectado con éxito al conmutador. En una ocasión, para probarlo, me había pedido transcribir algunos párrafos selectos de Sade con anotaciones de Bunz, y el resultado, aunque lento, había sido perfecto. Entusiasmado con su juguete, obtuvo por ahí una abundante dotación de papel y, si bien poco después perdió el interés, nunca desconectó el cacharo.

Así pues, procedí a vaciar el contenido de mis principales registros en farragos de hojas de papel, al exasperante paso de unas dos mil páginas diarias. Puesto que el acceso de los vivos a la memorioteca quedó vedado hasta que yo terminara de despedirme de los residentes —a fin de no interferir con los arrepentimientos y los perdones—, pude trabajar en forma continua y con absoluta reserva. Por fortuna el desvencijado aparato no falló una sola vez, y mi identidad ha quedado depositada en una copia material. El esfuerzo podría parecer inútil, en vista de que desde hace casi dos siglos la práctica de la lectura se extinguió por completo. Sin embargo, no tenía alternativa y no pierdo la esperanza de que algún día el laserscripto llegará a manos de un erudito capaz de descifrarlo y recibir mi mensaje. Quizás entonces servirá, si no para recordar la gris existencia de un viejo incomprendido, al menos para dar a conocer la barbarie que imperaba en las memoriotecas de nuestro tiempo.

Mi último periodo de gracia no ha concluido todavía. Cuando llegue el momento designado para despedirme de la última generación, emplearé todos los minutos restantes en adiestrar a Rita sobre lo que deberá hacer inmediatamente después de ser transferida. Le indicaré la forma más rápida de habilitarse con el único medio para ser de utilidad a las generaciones venideras, y escapar así del abandono y el hastío. Es lo menos que puedo hacer para resarcirla por las consecuencias que le ocasionó el tratar de ayudarme y, en alguna forma, cumplir la promesa que le hice. Ciertamente, ella no habrá acumulado gran experiencia propia en vida, pero en compensación tendrá como punto de partida el brevísimo casi infalible que le proporcionaré. Y para hacerse de un enjambre de adeptos con los cuales empezar a practicar, le bastará con que se sepa la escuela a la que pertenece.



Bridget Riley, *Blaze* (1962).



Robert P. Crease y Charles C. Mann

UNA MISTICA DE LA FISICA

Tomado de *The Sciences*.

© 1987. Todos los derechos reservados por *The New York Academy of Sciences*.

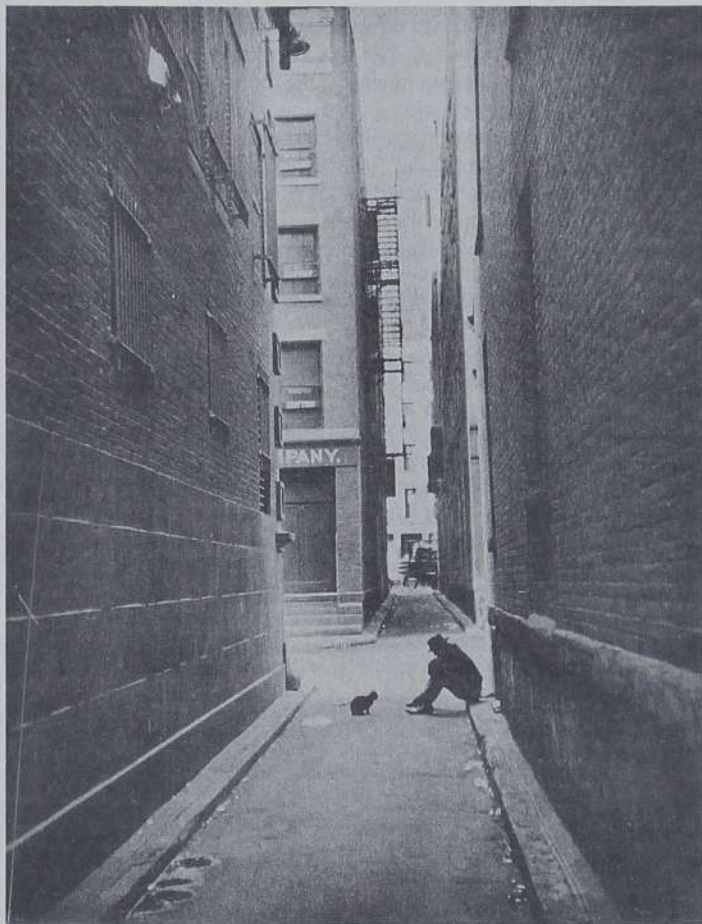
Robert P. Crease, profesor visitante de filosofía en la Universidad Estatal de Nueva York en Stony Brook, y **Charles C. Mann**, divulgador de la ciencia, son autores de *The Second Creation* (La segunda creación), una historia de la física de partículas.

Beyond the Quantum (Más allá del cuanto). Michael Talbot. Macmillan Publishing Company, 240 págs.

Quantum Physics: Illusion of Reality? (Física cuántica: Ilusión o realidad?). Alastair I. M. Rae. Cambridge University Press, 123 págs.

The Shaky Game. Einstein, Realism, and the Quantum Theory (El juego incierto. Einstein, realismo y la teoría cuántica). Arthur Fine. The University of Chicago Press, 186 págs.

The Social Relations of Physics, Mysticism, and Mathematics. Studies in Social Structure, Interests, and Ideas (Las relaciones sociales de la física, el misticismo y las matemáticas. Estudios sobre la estructura social, los intereses y las ideas). Sal Restivo. D. Reidel Publishing Company, 309 págs.



Fotos de Henri Cartier-Bresson.

Facetas, revista del Servicio Informativo y Cultural de la Embajada de los Estados Unidos (Stephen Espie, editor en jefe), núm. 79. Mientras las computadoras se vuelven cada vez más poderosas, los expertos generalmente convienen en que probablemente las complejas máquinas del futuro sean capaces de realizar asombrosas proezas intelectuales tales como desempeñar tareas en sicoterapia, llevar a cabo juicios legales y diagnósticos médicos, componer música y escribir poesía. Cuando la inteligencia artificial alcance semejantes alturas, ¿estarán “pensando” las computadoras como lo hacen los seres humanos? Si es así, ¿podemos concluir entonces que habrá dejado de existir diferencia alguna entre la mente humana y

la avanzada inteligencia artificial? Si no, ¿cuál será precisamente la diferencia entre un intelecto humano y el del robot más complicado? ¿Cuál es la naturaleza del “pensamiento”? Es un artículo aparecido en este número, Melvin Konner, antropólogo de la Universidad de Emory en Atlanta y divulgador de la ciencia, trata de responder a estas inquietantes preguntas. Hay dos artículos más en los que se muestran los adelantos en inteligencia artificial y la evolución del concepto de red computarizada. En la sección de reseñas de libros, se incluye una nota sobre el debate cada vez más áspero acerca del germoplasma, y en general sobre la historia de la exploración, reproducción y mejoramiento de plantas.

Hace cincuenta y dos años, el físico austriaco Erwin Schrödinger inventó un “aparato diabólico” para ilustrar las disparatadas implicaciones de la mecánica cuántica, teoría del dominio subatómico que él había colaborado a establecer una década antes. Imaginemos, decía Schrödinger, un gato encerrado en una caja de acero junto con un contador Geiger, una pequeña cantidad de material radiactivo, un martillo y un frasco con ácido cianhídrico. El aparato está dispuesto de tal manera que cuando un átomo de la sustancia radiactiva decae, el contador Geiger produce una descarga y, mediante un mecanismo disparador, hace que el martillo rompa el frasco y el veneno sea liberado. El problema es el estado del gato luego de una hora, sin mirar el interior de la caja.

A primera vista, la solución parece obvia. El sentido común indica que *una de dos*: el animal está vivo o muerto; un átomo habrá decaído o no. Pero los sucesos radiactivos ocurren en el definitivamente excepcional reino de la mecánica cuántica, y ahí las cosas son distintas: según la interpretación convencional de la teoría, dicho decaimiento está indeterminado —o ha tenido lugar o no—

hasta que alguien lleva a cabo una medición, que en este caso significa abrir la caja y examinar el gato. Hasta entonces, escribió Schrödinger, “los gatos vivo y muerto están (perdóneseme la expresión) mezclados o embarrados”. En otras palabras, mientras la caja permanezca cerrada, el gato de Schrödinger está, *al mismo tiempo*, vivo y muerto.

Schrödinger pensaba que por esta absurda conclusión había algo sumamente erróneo en la mecánica cuántica y, peor aún, que el sin sentido provenía de su propia contribución a la teoría, la función ondulatoria, que él concibió en 1926. Hoy en día una herramienta esencial para la física, la función ondulatoria (también conocida como ecuación de onda de Schrödinger) describe los componentes básicos de la materia —electrones, protones, etc.— con gran precisión. Hasta su concepción, se pensaba que tales componentes eran partículas de cierta clase: pequeñas canicas, si bien canicas con características peculiares. Sin embargo, la ecuación de Schrödinger describía el interior del átomo completamente en términos de ondas. Los físicos encontraron esto alarmante: ¿Cómo podrían ondas insubstanciales formar el armazón y la

trama del mundo? Si los componentes del mundo subatómico son ondas, ¿de qué están hechas las ondas?

La interpretación de este abstracto estado de cosas se le adjudica comúnmente al físico teórico Max Born, quien afirmaba que la frecuencia y longitud de las ondas en la ecuación de Schrödinger están relacionadas de una manera matemáticamente precisa (aunque, en términos intuitivos, poco satisfactoria) no con frecuencias y longitudes de onda *reales*, sino con flujos y contraflujos de probabilidad; la probabilidad, por ejemplo, que un determinado electrón se encuentre en un punto A con un momento B en un tiempo C. Por tanto, la función ondulatoria de una partícula es una especie de catálogo de todos sus posibles estados de ser. Cuando un físico realiza una medición, la función ondulatoria se “colapsa”: todas, excepto una de las posibilidades son excluidas, y el experimentador concluye con valores reales para A, B y C.

En el caso del aparato diabólico de Schrödinger la situación es un poco más complicada: La función ondulatoria describe no únicamente el estado de la sustancia radiactiva, sino el de todo el conjun-

Prenci, boletín del Centro Universitario de Comunicación de la Ciencia, UNAM, septiembre y octubre de 1987. El biólogo ante la escritura (I) y (II), por Agnes Arber. Cabe destacar la publicación en estos dos números de un fragmento traducido por Nemesio Chávez Arredondo del libro clásico de Arber, *The Mind and the Eye*, aparecido por primera vez en 1953. Con gran economía de estilo y claridad de ideas se descarta la timorata posición de muchos investigadores ante la página en blanco. Es difícil, por supuesto, abordar un tema y tejerlo con fluidez, responsabilidad, originalidad y placer, pero debe intentarse en beneficio de la Academia y el Público. Por ejemplo, en palabras de Arber: "Uno de los factores adversos a la totalidad

orgánica en el escrito biológico es el excesivo uso de la cita. El intento de establecer la situación presente de alguna controversia, o de abordar los aspectos históricos de un asunto, es ideal para degenerar en una serie de citas heterogéneas sobre las que el lector difícilmente puede fijar la atención, y las cuales dan la impresión de una compilación sin vida de notas inconexas. Aunque el uso de la cita puede en principio parecer indicativo de modestia, es en realidad un dispositivo de auto-defensa que la mente usa para eludir el trabajo y transferirlo a la audiencia".

to formado por el contador Geiger, el martillo, el frasco y el gato. Cuando un observador abre la caja, la función ondulatoria, que es una superposición de dos estados cuánticos —en uno, el átomo no ha decaído y el ácido aún se encuentra en el frasco, y en el otro el átomo ha decaído y el ácido se derrama por la base de la caja—, se colapsa y el gato está muerto o está vivo.

En cierta forma, no hay nada sorprendente en la interpretación de Born o, de hecho, en la incapacidad del observador para predecir el resultado de una medición. Durante siglos, la gente ha apostado en los volados sin meterse con las verdades de la física. La ecuación que describe este suceso dice que existe un 50% de probabilidades de que caiga sol y 50% de que caiga águila. Toda esta descripción esta-

dística significa que no sabemos la velocidad exacta ni el ángulo del lanzamiento, la dirección del viento en ese momento, etc. Si lo supiéramos, podríamos predecir el resultado; nuestra confianza en las probabilidades simplemente muestra que ignoramos estos factores.

Pero las probabilidades en la mecánica cuántica son distintas, como lo dijo por vez primera el físico danés Niels Bohr. En septiembre de 1927, en el Congreso Volta, en Como, Italia, Bohr aseguró que a la mecánica cuántica no le faltaba nada; que, en principio, uno no puede saber más de lo que la función ondulatoria de Schrödinger permite conocer. Hasta que un observador efectúa una medición y la función ondulatoria se colapsa, el electrón no tiene una posición definida, momento o energía. Esta declaración, que es la piedra angular de la que pronto sería llamada la interpretación de Copenhague (por la ciudad en la que Bohr llevó a cabo la mayor parte de su obra), precipitó a los físicos en una ciénaga ontológica. Pues si las propiedades de un objeto no poseen valores hasta que son medidas, el objeto no existe en ningún sentido ordinario.

Einstein objetó esta empresa. La mecánica cuántica, dijo, no está



Henry E. Sigerist, **Civilización y enfermedad**, Instituto Nacional de Salud Pública/Fondo de Cultura Económica, México, 1987 (Biblioteca de la Salud), Tr. Ramón Aguirre Dávila. Este libro, clásico de la medicina, publicado en español por vez primera en 1946, forma parte de una colección de textos dirigidos a los médicos docentes y practicantes a fin de colaborar en su constante superación profesional. La colección, coordinada por el Dr. Julio Frenk, tiene una excelente presentación, y ha sido idea fundamental de los editores incluir entre sus lectores no sólo a los estudiosos de las ciencias de la salud, sino también al público interesado.

Ignacio Chávez, **México en la cultura médica**, Instituto Nacional de Salud Pública/Fondo de Cultura Económica, México, 1987 (Biblioteca de la Salud). Editado en 1947 por el Colegio Nacional, este volumen ha sido incorporado a la colección debido a su vigencia y a la importancia de los conceptos que, a través de una mirada histórica, vierte el Dr. Ignacio Chávez.

completa; debe haber factores desconocidos —“variables ocultas”— que, cuando sean descubiertas, permitirán a los científicos describir el comportamiento de las partículas subatómicas tan precisamente como el de las canicas: dejemos a un lado funciones ondulatorias que se colapsan; dejemos atrás las paradojas como la del gato de Schrödinger. Bohr no estuvo de acuerdo, y ambos pasaron años discutiendo, sin llegar a convenirse uno al otro. La polémica

condujo a los adversarios hacia algunas disgresiones peculiares, especialmente cuando empezaron a inventar artificios a fin de traducir sus puntos de vista sobre el mundo subatómico en ejemplos que pudieran ser visualizados en el nuestro.

Supongamos que tenemos dos cajas cerradas y en una de ellas una pelota, escribió Einstein en junio de 1935; si decimos que hay un 50% de probabilidades de que la pelota esté en ambas cajas, la des-

cripción está incompleta, porque evidentemente la pelota está en una o en otra. ¿Por qué esto es distinto a cuando la ecuación de Schrödinger afirma que un electrón tiene las mismas probabilidades de estar en los dos sitios? No se encuentra a medio camino entre ambos, ¿o sí? Y si creemos en la mecánica cuántica, preguntaba poco después Schrödinger, ¿tenemos que decir que el gato está vivo y muerto?

Bohr no se movería. La dificultad con los ejemplos de la pelota y el gato en la caja, pensaba él, es que no toman en cuenta el reto que la mecánica cuántica presenta a los conceptos ontológicos convencionales. El aparato diabólico de Schrödinger es categóricamente diferente a, digamos, un mecanismo automatizado de volados que active un veneno mortal cada vez que la moneda caiga sol. En teoría, el resultado de un proceso clásico como este puede predecirse con base en especificaciones precisas del mecanismo: el ángulo de lanzamiento, la altura a la cual se envía la moneda, su sensibilidad a factores externos tales como la presión atmosférica y la gravedad. Cualquier clase de incertidumbre que se presente, se debe solamente a nuestra ignorancia. Pero en un proceso cuántico, según la inter-



Barbara Jacobs, Las hojas muertas, ERA, México, 1987. Esta novela, ganadora del Premio Villaurrutia, es un brillante ejercicio de estilo, en el que la narradora, asumiendo el punto de vista de un clan, de una colectividad, de un "nosotros" en su edad otoñal, mira el pasado con gran entusiasmo y sensibilidad. Es una gran historia y una historia sencilla, familiar. Se halla presente el acontecer histórico, aparecen los grandes sucesos junto al quehacer cotidiano de una familia de inmigrantes libaneses en busca de ese mundo de libertad pregonado por diversas capitales del mundo civilizado en este siglo.

Alfred Kazin, Una procesión. Cien años de literatura norteamericana, FCE, México, 1987 (Lengua y Estudios Literarios). Parafraseando a Eliot, "os mostraré el esplendor en un puñado de tinta" parece insinuar Kazin en esta serie de ensayos sobre los más importantes escritores estadounidenses desde 1830 a 1930. Una contribución al entendimiento que nos conviene tener acerca de la grandeza del pueblo de los Estados Unidos, "hombres andrajosos y eternamente hambrientos", "bourgeois-bostonien", hijos de menonitas y *Sister Carrie* y el bucanero Hemingway, todos en una de las más asombrosas galerías jamás vista. 

pretación de Copenhague, nada existe excepto la función ondulatoria: el átomo es únicamente una sobreposición de posibilidades; nunca puede predecirse el decaimiento radiactivo; y, en realidad, el gato está mezclado o embarrado.

La interpretación de Copenhague formula estos puntos de vista en función de un "observador", cuya intervención —por ejemplo, al abrir la caja de Schrödinger— colapsa la función ondulatoria y hace que la situación cuántica se defina, en efecto, convirtiendo los electrones en canicas. Desafortunadamente, cuando Bohr y sus colaboradores en Copenhague trataban de determinar con precisión qué era lo que constituía un observador, sus análisis filosóficos eran menos rigurosos que su física. El simple uso de la palabra *observador* parecía introducir subjetividad a la física y, luego de algunos debates, el grupo de Copenhague decidió que eso estaba bien. La mente del observador que abre la caja provoca el colapso de la función ondulatoria y, en consecuencia, determina la vida o la muerte del gato. Se encontraban a un paso de concluir que la existencia del mundo depende la conciencia; que, de hecho, la realidad es una figura mental.

Pocos habrían pensado que una

teoría con semejante valor práctico (las predicciones cuánticas son extraordinariamente precisas) desataría esta caja de Pandora llena de confusa especulación. Con los años, las implicaciones ontológicas de la interpretación de Copenhague han inspirado comentarios de físicos con inclinaciones filosóficas y, más recientemente, de chiflados que gustan de la especulación, quienes han sacado la mecánica cuántica de su dominio subatómico y la han dotado de significado para las acciones y el destino humanos. Este sorprendente movimiento popular ha producido todo un género de libros que proclaman, entre otras cosas, que los físicos del siglo XX han comprobado la existencia de la telepatía, el inconsciente colectivo y la comunicación más veloz que la luz. Como muchos modernos San Anselmos, Bohr y sus colegas han llegado incluso a suponer que tienen la prueba de la existencia de Dios.

Particularmente extraviada es la creencia de que hay una semejanza entre la mecánica cuántica y el antiguo pensamiento asiático, una idea que en fechas recientes ha crecido hasta alcanzar su culminación en los textos de Shirley MacLaine, la actriz, quien en su autobiografía asegura que "comprender los principios espirituales es igual

a comprender los principios científicos", que la mecánica cuántica es la manera en que el cosmos nos dice que somos Dios. En realidad, esta exposición ha llegado a tener el aspecto de una locura con tintes teológicos en medio del argumento del siglo IV, según el cual el Espíritu Santo es substancial (homousiano) o consubstancial (homoiousiano) al Padre. En ese entonces, el destino de la Cristiandad parecía revolverse en un diptongo; hoy, parece que el significado de la realidad depende de un gato semivivo.

El patriarca de la mística en la física es Fritjof Capra, cuyo libro *The Tao of Physics*, publicado en 1975, con más de un millón de ejemplares vendidos, postulaba un





nexo entre la física y un paquete sorpresa de religiones orientales. Según Capra, tanto la física como estas tradiciones espirituales confirman la interconexión, y por lo tanto la unidad de todas las cosas. Más tarde, Gary Zukav, quien no es científico, lanzó *The Dancing Wu Li Masters*, que en 1980 ganó el Premio Estadounidense del Libro por el jovial anuncio de que "las implicaciones de la mecánica cuántica son psicodélicas. No sólo influimos en nuestra realidad, sino que, de alguna manera, verdaderamente la creamos". Zukav quiso darnos a conocer su descubrimiento de que la física no es la estéril y aburrida disciplina que él pensaba. Más que postrarnos ante el pensamiento del científico, decía Zukav, debemos celebrarlo, pues la física nos lleva hacia un futuro más cordial: "En los lugares más insospechados, entre aceleradores de partículas y computadoras, surge nuestra propia Senda sin For-

ma". Es decir, aceptar las percepciones de la ciencia guiará a la humanidad al esclarecimiento del espíritu.

El éxito de *The Dancing Wu Li Masters* entre los críticos inspiró a otros divulgadores, entre ellos el físico Fred Alan Wolf, cuyo *Taking the Quantum Leap*, que también ganó el Premio Estadounidense del Libro; Paul Davies, otro científico y autor de *God and the New Physics*; y MacLaine, quien cita a Zukav en el epígrafe de *Dancing in the Light*. Sus creencias son típicas del misticismo cuántico: Las experiencias metafísicas la han llevado "a comprender aún más cabalmente lo que los nuevos físicos y los antiguos místicos trataban de reconciliar en sus mentes: la realidad de la conciencia... Ellos parecían estar a punto de convenir en que incluso el cosmos no era más que conciencia. Que el universo y Dios serían un "pensamiento" enorme, colectivo".

La corriente de este tipo de libros no ha disminuido. Entre los más recientes, y ambiciosos, se encuentra *Beyond the Quantum*, de Michael Talbot. Autor de dos novelas de horror, relaciona la física subatómica con espíritus chocarreros, teleportación, "campos M", nidos de termitas, anémonas de mar, protozoarios y hombres que han vivido vidas normales a pesar de no contar prácticamente con un cerebro. A grandes rasgos, su premisa es que todos estamos conectados con todos y con todo. En esto se halla íntimamente involucrada la mecánica cuántica, dice Talbot, al demostrarnos cómo el observador está inextricablemente ligado a lo observado. Colapsamos la función ondulatoria cuando llevamos a cabo una observación, así que la mente le da forma a la materia.

Inevitablemente, Talbot recurre al gato de Schrödinger cuando se refiere a la paradoja del amigo de

Wigner. En 1961, el físico húngaro Eugene Wigner señalaba que, si el contador Geiger y el gato (ya que ambos, de alguna manera, registran los sucesos) son parte de la función ondulatoria, entonces no hay razón para excluir al observador de Schrödinger del aparato experimental. La medición *real* sólo puede darse cuando una segunda persona (Wigner) le pregunta a la primera (su amigo) si el gato está vivo o muerto. Luego, según la interpretación de Copenhague, todo el sistema observador más gato estaría "mezclado o embarrado". Además, si aparece un *segundo* amigo y pregunta por el gato, se podría considerar también que las dos primeras personas existen en una vaga serie de posibilidades; la cadena de observación podría continuar, escribieron los astrofísicos John Barrow y Frank Tipler hace poco, sin que nada sea finalmente real, "hasta que todas las secuencias de observación de todos los observadores de todas las especies inteligentes que han existido y existirán, de todos los sucesos que han tenido lugar y ocurrirán sean finalmente reunidos por la Observación Final del Último Observador".

Al ser el "último observador" una especie de deidad, desde este punto de vista el gato de Schrödinger es una manera de probar la existencia de Dios. Aunque a la postre Wigner rechazó la paradoja porque daba a entender que su amigo no existía hasta que Wigner lo reconociera, Talbot la acepta como algo valioso. Asegura que "la verdadera suerte del gato parece residir sólo en la siempre expansible red de observadores que se comunican. Dicho de otra manera, la suerte del gato tiene menos que ver con algo que existe "afuera" y más con algo que existe por entero en el reino de la información", el término que Talbot utiliza para designar a dios.

En este tenor, *Beyond the Quantum* pasa, a una vertiginosa velocidad, de ser un texto chillado a otro que nos recuerda la serie de

Ripley, *Aunque usted no lo crea*. Talbot escribe con tanto entusiasmo sobre la tendencia de las moléculas a organizarse por sí mismas en estructuras más largas como sobre los espíritus chocarreros:

Esta danza sin fin de materia indica que el universo en sí está envuelto en una terrible y gloriosa bulla, y que los pequeños remolinos de la mente como los de los espíritus chocarreros no son sino uno más de los procesos sintomáticos de la interminable explosión de *software* autoorganizado que está en constante formación, bifurcándose y explorándose infinitamente en el fondo informativo del cosmos.

La proliferación de semejantes disparates ha generado una saludable y violenta reacción de parte de algunos físicos que están intentando explicar el significado de la mecánica cuántica sin recurrir al misticismo y el ocultismo. También ciertos filósofos han asestado un golpe a este asunto, al igual que por lo menos un sociólogo, cuya perspectiva está enfocada no tanto sobre la física o el misticismo, sino hacia el intento de forjar un vínculo entre ambos.

Un admirable, aunque finalmente infructuoso, intento de un físico por resolver las paradojas generadas por la física del siglo XX es el breve y en términos generales claro libro de Alastair Rae, *Quantum Physics: Illusion or Reality?* Luego de analizar el ejemplo del gato de Schrödinger, Rae aborda la pre-

gunta: ¿Todo está en la mente? Concluye que no y ofrece como prueba la obra del químico Ilya Prigogine, Premio Nobel, cuyas ideas han influido en el estudio de los procesos caóticos en fenómenos tales como el movimiento de las partículas en un gas o la turbulencia de un flujo que circula velozmente.

Prigogine fue uno de los descubridores de lo que en ocasiones se llama "mezcla fuerte", es decir, la producción de un gran cambio en un sistema complejo por pequeñas variaciones en sus condiciones iniciales. (Pensemos en la trayectoria que sigue una bola en un juego de billar romano mecánico o *pin ball*; un cambio microscópico en el impulso inicial sobre la bola puede significar la diferencia entre un premio triple o un fracaso). Dicho de manera sencilla, Prigogine sostiene que *cualquier* sistema macroscópico en el mundo newtoniano, desde las moléculas a las máquinas, está sujeto a una mezcla fuerte, y que incluso la causa puede ser algo tan sutil como una medición. Por otro lado, la mecánica cuántica se aplica sólo a sistemas libres de mezcla fuerte, como los que están constituidos por una sola partícula que viaja a través del espacio o, tal vez, por un pequeño conglomerado de partículas aisladas de las interacciones con otras partículas. Cambiar las condiciones iniciales en tales sistemas no provoca efectos drásticos, pues son muy simples. Como resultado, un electrón cae bajo la esfera de acción de las leyes de la mecánica cuántica únicamente cuando se le aísla del resto del universo, incluido el inquisitivo físico. Así, en principio, los efectos de la mecánica cuántica no son observables, lo cual, admite Rae, conduce a un punto de vista que se parece mucho a la interpretación de Copenhague; según ambas perspectivas, la medición transforma el sistema mecánico cuántico en uno clásico. Cuando el átomo radiactivo en el aparato diabólico de Schrödinger decae, pone en marcha el contador Geiger. Este, que



es un aparato de medición, introduce una mezcla fuerte y, por tanto, la ecuación de onda de Schrödinger, que regula sólo situaciones cuánticas, ya no tiene aplicación. El gato existe únicamente en un estado; está muerto, no importa si alguien lo ve o no.

Sin embargo, al decir que los sistemas con mezcla fuerte son clásicos y que los sistemas sin ella son cuánticos, Rae y Prigogine dejan sin resolver dos de los dilemas centrales ilustrados por la paradoja del gato. Primero, ¿dónde se halla la frontera entre los mundos cuántico y clásico? Una partícula no está sujeta a una mezcla fuerte, ¿pero qué tal 5?, ¿y 9 ó 17? Segundo, ¿es la función ondulatoria una descripción de algo o es la cosa en sí? Cuando las partículas están en ese estado cuántico puro, inobservable, ¿son reales? Si no, ¿qué son?

Los filósofos parecen ser las personas idóneas para aclarar estas cuestiones conceptuales; desafortunadamente, pocos poseen la experiencia necesaria en física. Una excepción es Arthur Fine, el autor de una reciente colección de ensayos intitulados *The Shaky Game: Einstein, and the Quantum Theory*. Gran parte del libro está dedicado a definir las posiciones filosóficas asumidas por los deliberantes en la controversia sobre la mecánica cuántica. La postura de Einstein, por ejemplo, se conoce como realismo: el mundo cuántico está formado por objetos reales, muy parecidos a los que encontramos en el nuestro; las descripciones de tales objetos son verdaderas si representan con precisión sus características. La posición de Copenhague, en contraste, se llama antirrealismo, y afirma que los constituyentes del mundo cuántico no corresponden, de hecho, a nada que podamos imaginar. La mecánica cuántica sólo es un sistema de constructos matemáticos; las descripciones de los objetos cuánticos son verdaderas si predicen precisamente los resultados de los experimentos.

Fine rechaza ambas actitudes filosóficas y aconseja una tercera aproximación, el punto de vista natural ontológico, según el cual debemos abstenernos de buscar el significado de verdad en las teorías científicas. En pocas palabras, su pragmática opinión dice: "Si funciona, no hagas preguntas".

Pero Fine también tropieza con el desventurado gato de Schrödinger. Comienza por descubrir un modelo realista factible y termina con una variante particularmente complicada de una teoría de variables escondidas, en la cual no obstante se invocan las características desconocidas de un sistema cuántico para prevenir las paradojas de la función ondulatoria y para predecir el momento en que el átomo en la caja decaerá. La teoría que Fine imagina es un ensueño. En realidad, él propone no unos cuantos, sino conjunto continuo de variables escondidas, sin especificar nunca su naturaleza. Algunos de

estos conjuntos son inherentemente "imperfectos", ya que —por razones desconocidas— no pueden llevarse a cabo en ellos ciertos tipos de mediciones. Por lo tanto, durante una medición lo que se mide no es más que un subconjunto limitado de todos los conjuntos de variables involucradas. Cuando un observador mira adentro de la caja de Schrödinger, los conjuntos de variables se reducen a un subconjunto, y la función ondulatoria se colapsa. Al final, la teoría de Fine suena sospechosamente parecida a la interpretación de Copenhague, a la cual pretende reemplazar.

Aún desconcertante para los físicos y filósofos, la mecánica cuántica es especialmente enigmática para quienes no son científicos. Y en esto, irónicamente, reside mucho de su encanto. Algunos occidentales creen que la mecánica cuántica y ciertos rasgos del antiguo pensamiento asiático son intercambiables simplemente por-



que son inescrutables. Esta mañana idea pasa a mejor vida en *Social relations of Physics, Mysticism, and Mathematics*, de Sal Restivo, en donde analiza las analogías que se han extraído de las paradojas de la mecánica cuántica (el gato de Schrödinger) y de las del misticismo oriental (el sonido de una mano que aplaude). Así, Zukav pregunta: "¿Es una coincidencia que los budistas que exploraron la realidad 'interna' hace un milenio y los físicos que indagan la realidad 'externa' un milenio después hayan descubierto esa comprensión que implica atravesar la barrera de lo paradójico?" La respuesta de Restivo es sí. Las paradojas místicas no pueden resolverse por medio de la razón y, por tanto, conducir a la mente a un salto más allá de las categorías comunes del pensamiento, hacia una verdad absolutamente irracional; tales paradojas son ejercicios útiles —ayudan al desarrollo espiritual— y por ello son apreciadas. Por otro lado, las paradojas en física son síntomas claros que señalan donde hace falta una mayor comprensión racional; son obstáculos que deben eliminarse en busca de un conocimiento más profundo.

La impugnación de Restivo es particularmente devastadora en cuanto demuestra que quienes intentan extraer tales paralelismos distorsionan tanto el misticismo oriental como la física. El budismo Zen cree que la percepción individual es inherentemente fragmentaria y provisional no porque, como muchos seguidores occidentales piensan, el observador cree la realidad, sino porque crea ilusiones —desde creencias personales debido a predilecciones culturales hasta pronunciamientos científicos—, que él no puede menos que interpretar como realidad. El Zen cuántico de hoy es tan ignorante de las creencias religiosas de Oriente como lo era el Zen californiano, el utopismo inofensivo hippie de los años 60.

Si los occidentales entienden o no el misticismo oriental puede in-



cluso no venir al caso, ya que, según Restivo, el empeño por encontrarle paralelismo con la mecánica cuántica está en el fondo motivada por causas ideológicas y no por un fervor espiritual. Para la escuela que enarbola "la física es misticismo", la ciencia se vuelve más humana mediante su asociación con la religión, y las creencias religiosas se hacen más verosímiles por virtud de sus nexos con la ciencia. De hecho, las raíces de esta forzada asociación son más profundas de lo que el mismo Restivo piensa, pues se remontan a la época de Copérnico, cuando la ciencia expulsó al hombre del centro del universo. Desde entonces, el mundo ya no gira a nuestro alrededor y la ciencia nos ha recortado sistemáticamente a nuestra medida. Según la teoría de la evolución, somos sólo una entre millones de especies cuya existencia es accidental y cuya desaparición puede ser inminente. En el mejor de los casos, nuestros más nobles pensamientos, trabajos e instituciones son mecanismos adaptativos cuyo único propósito es garantizar la transmisión de material genético de una generación a otra; en el peor, son accesorios inútiles de la vida. Somos simplemente, como dijo Pascal, finos hilos dispuestos a ser eliminados de la existencia por una gota de agua o una pizca de polvo.

Talbot y otros paralelistas desean desesperadamente encontrar algunas evidencias para revertir

esta tendencia. Y piensan que presagios de esta reversión son los enigmas cuánticos como el del gato de Schrödinger, el cual parece revelar que, al pensarlo, el universo existe. Quisieran escuchar que, luego de siglos de degradación científica, finalmente la humanidad ha sido devuelta a su legítimo lugar en el sol. Talbot expone este anhelo con enternecedora claridad:

A pesar de todos sus atributos positivos, el enfoque reduccionista y mecanicista tiende a brindarnos una visión del universo como una gigantesca y accidental máquina, en la que nosotros, los humanos, somos meros "errores" del azar. Pero somos más que máquinas. La lección de la nueva física es que hay prodigiosos murmullos de inteligencia en todas las cosas, y al... reconocer que somos parte del tejido viviente del cosmos, es probable que avancemos y podamos reintegrar parte del significado que con tanta urgencia nos hace falta... Es claro que muchos de los actuales problemas del mundo se deben al divisionismo, al egoísmo y la fragmentación. El hecho de que la nueva física contenga dentro de sí poderosas metáforas de autotransformación y cambio social... puede ser un buen primer paso hacia la curación de estas enfermedades.

Podemos compadecernos de estas esperanzas, al igual que menospreciar los malos entendidos respecto de la mecánica cuántica que las han inspirado, no por otra razón sino porque la defensa del paralelismo —la interpretación de Copenhague— ha sido demasiado débil. La ciencia revisa continua-

mente sus fundamentos, e incluso la mecánica cuántica no está a salvo de un cambio. Si mediante un nuevo experimento se prueba que la interpretación de Copenhague es falsa, ¿qué pasará con el amigable cosmos de Talbot?

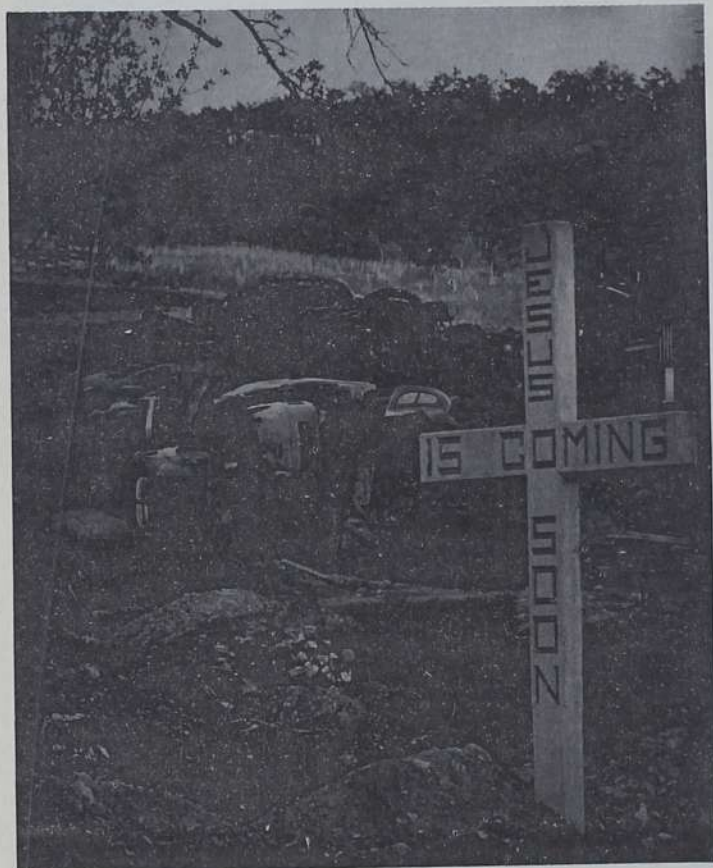
La pregunta no es ociosa. Recientemente, tres físicos italianos

gobierna la probabilidad de que la función ondulatoria llegue a colapsarse espontáneamente, sin intervención del observador. Debido a que el valor de la constante es extremadamente pequeño, la probabilidad de que el colapso se presente en una partícula dada en un momento determinado es también

mayor —digamos un gato o un contador Geiger— contiene trillones sobre trillones de partículas, haciendo innumerables las probabilidades de que, inevitablemente, el colapso se produzca en cualquier momento. La suma de estos colapsos es lo que vemos en un instante, y por tanto los objetos en nuestro mundo parecen siempre estar en estados definidos, prácticamente ajenos a la forma ondulatoria.

Si GWR está en lo correcto, demostrará cómo en ocasiones la práctica ordinaria de la física puede sacar a la ciencia de los dilemas de la interpretación de Copenhague. La teoría define la frontera entre los fenómenos clásicos y cuánticos de una manera lógica; sugiere que éstos forman un continuo, en el que los cuánticos se combinan con los clásicos y los substituyen en una escala muy pequeña para la percepción humana. Evitan las paradojas; siempre, el gato o estará muerto o vivo. Finalmente, a diferencia de la mezcla fuerte de Prigogine y las variables imperfectas de Fine, GWR posee efectos comprobables.

Sin embargo, debido a la dificultad de estas pruebas tal vez su confirmación aún esté muy distante. Además, la teoría no resuelve la naturaleza de la ecuación de onda, es decir, si los objetos cuánticos existen o no independientemente de la ecuación. Tal parece entonces que el fantasma del felino de Schrödinger seguirá rondando la mecánica cuántica en los próximos años. Y con toda seguridad, dada el ansia del hombre por encontrar realidades últimas, si los físicos no explican el significado de la mecánica cuántica claramente, otros asumirán el desafío. En realidad, el grado en el que los físicos, a causa de su propia confusión conceptual, favorezcan la engañada búsqueda de una comprensión mística puede ser considerado como un indicio del enorme trabajo que tanto ellos como los filósofos aún tienen por delante. ☸



—Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini y Tulio Weber— propusieron una modificación a la ecuación de onda de Schrödinger que, de un modo impresionante, ilustra la velocidad a la cual el escenario de la ciencia cambia. Sucintamente, GWR, como se le llama a este nuevo concepto, imagina una hipótesis constante de la naturaleza que

sumamente pequeña; una puede colapsarse una vez en cien millones de años, más o menos. Esto significa que en laboratorio es poco probable observar en estado de colapso una partícula y, así, exhibir el espectro total del misterioso comportamiento cuántico: efectos semejantes a ondas, superposición de estados, etc. Pero un objeto

Maestría y Doctorado en Química

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN QUÍMICA

El Departamento de Química del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN ofrece sus programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en las Especialidades de Fisicoquímica y Química Orgánica. Así mismo se pueden llevar a cabo en el mismo departamento Tesis de Licenciatura y Servicio Social. Las Áreas de Investigación que se cultivan son: Electroquímica y Análisis Instrumental, Electroquímica, Electrodeposición, Termodinámica Química Experimental, Corrosión, Electroquímica, Baterías y Electrólitos Sólidos, Química Estructural, Compuestos Orgánicos de Níquel, Platino, Aluminio y Estaño, Síntesis Orgánica, Química Organometálica, Compuestos con Metales de Transición, Resonancia Magnética Nuclear, Mecanismos de Reacción, Técnicas de Análisis Instrumental, Productos Naturales y Química Orgánica Sintética.

BECAS

A los candidatos admitidos se les apoyará en el trámite de becas ante el CONACYT, AMHS, SEP, etc. de acuerdo a las convocatorias respectivas.

Para mayor información dirigirse a:

Dra. Angélica Paz Sandoval
Coordinadora Académica del Depto de Química
CINVESTAV
Apdo. Postal 14-740
07000 México, D. F.
Tel. (55) 02-00 ext. 135 ó 127

REQUISITOS DE ADMISIÓN

Haber concluido el ciclo profesional en alguna de las carreras de Química.

En ambas áreas se deberán aprobar los exámenes de admisión sobre los siguientes temas: Química Orgánica, Fisicoquímica, Química General y Matemáticas. Exámenes de admisión: los días 9 de Agosto de 1988.

SEGUNDA REUNION CENTROAMERICANA Y DEL CARIBE SOBRE FORMACION DE PROFESORES E INVESTIGACION EN MATEMATICA EDUCATIVA

Tendrá lugar en la Universidad de San Carlos de Guatemala, del 24 al 26 de marzo de 1988.

Esta reunión ofrece a los participantes un foro internacional para intercambiar ideas y experiencias sobre los problemas que plantea la formación y actualización de profesores de Matemática, conocer mejor el papel de la Matemática en los distintos sistemas educativos del área, comunicar resultados en el campo de la investigación de la Matemática Educativa y proponer mejoras metodológicas:

PROGRAMA

El programa contempla dos actividades:

- Conferencias plenarias.
- Presentación de:
Programas de formación y/o actualización de profesores de Matemáticas.
Análisis de la Matemática en los distintos sistemas educativos.
Informes de investigación
Propuestas metodológicas.



Kukulcán, Dios del aprendizaje

CONVOCAN

- Universidad de San Carlos de Guatemala
- Universidad del Valle de Guatemala.
- Asociación de Profesores para la Enseñanza de la Matemática (Guatemala)
- Red Universitaria de Unidades Académicas del Sistema Nacional de Formación de Profesores de México.

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Universidad Autónoma de Coahuila
Universidad Autónoma de Colima
Universidad Autónoma de Guerrero
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Universidad Autónoma del Estado de México
Universidad Autónoma de Nayarit
Universidad Autónoma de Nuevo León
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
Universidad Autónoma de Sinaloa
Universidad Autónoma de Sonora
Universidad Autónoma de Yucatán
Universidad de Guadalajara
Universidad Juárez del Estado de Durango
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Universidad Pedagógica Nacional
Universidad Veracruzana

- Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica
- Sociedad Mexicana de Matemática Educativa, A.C., México

MAYORES INFORMES:
Segunda Reunión Centroamericana y del Caribe sobre Formación de Profesores e Investigación en Matemática Educativa
S.F.P.E.M.
Avenida Petros 22, 2do. piso 12
Ciudad Universitaria
Guatemala, América Central

Fernando HURT
Elsa Sandoval
Olivera Espinoza
Nicolás San Juan No. 1421, Col. Del Valle
México, D.F. 02100, México



CENTRO DE INVESTIGACION
Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL IPN