

# Los quarks ¿libres o atrapados?

**Premio Nobel de Física 2004** FRANCISCO J. YNDURÁIN 13/10/2004

A parte de la gravitación, existen en la naturaleza tres tipos de fuerzas (o interacciones, que es el nombre preferido de los científicos): la familiar fuerza electromagnética, la interacción débil (responsable de las desintegraciones radiactivas) y la interacción fuerte, que es la que mantiene ligados a los quarks en el interior del núcleo atómico.



H. David Politzer



Frank Wilczek y David J. Gross- AP

*Es como si la luz tuviese carga eléctrica y un rayo de luz pudiese desviar a otro*

*La interacción entre dos partículas sería como si estuvieran unidas por una goma*

En los años cincuenta y sesenta del siglo pasado, se elaboraron ciertas teorías de las fuerzas que actúan entre partículas elementales, las cuales, de forma entonces tentativa, explicaban sus interacciones. Pero el estatus de los tres tipos de interacciones era muy distinto. Las electromagnéticas, que se dan entre partículas con carga eléctrica, eran muy bien comprendidas ya entonces. La consistencia de la teoría de las interacciones débiles sólo se completó gracias a los trabajos de Gerardus 't Hooft y Martinus Veltman (compartieron el Premio Nobel de Física en 1999). Finalmente, la teoría de las interacciones fuertes, que a la postre resultó la correcta, estaba sumergida entre una maraña de otras teorías alternativas.

El motivo de la confusión acerca de las interacciones fuertes era que la teoría más atractiva, en la que se suponía que los núcleos atómicos están hechos de unas ciertas partículas conocidas como *quarks*, presentaba inconsistencias aparentemente insalvables: en algunos experimentos parecía que los quarks fuesen partículas libres, pero por otra parte estaban atrapados en el núcleo sin poderlos separar. La solución de este rompecabezas fue un requisito indispensable para la formulación del Modelo Estándar de las partículas elementales, modelo que ha tenido desde los años 1980 una serie ininterrumpida de éxitos en explicarnos la dinámica del microcosmos.

En 1973 se publicaron simultáneamente dos trabajos con el mismo descubrimiento teórico en la revista *Physical Review Letters*, uno de David J. Gross y Franck Wilczek y el otro de Howard David Politzer, trabajos que han sido galardonados este año con el Premio Nobel de Física.

El descubrimiento era que, en ciertas teorías de interacciones entre partículas, conocidas como interacciones de Yang-Mills (nombre de los físicos que primero las estudiaron), la intensidad de las fuerzas que actúan entre las partículas *decrece* cuando están cerca y *crece* cuando están lejos. En estas teorías la interacción entre dos partículas sería como si ambas estuvieran unidas por una goma elástica que impide que se alejen demasiado, pero que apenas se nota cuando

están cerca: a cortas distancias una de otra, las partículas se comportan como si fueran libres, propiedad conocida como *libertad asintótica*.

El trabajo de Gross, Wilczek y Politzer [los tres estadounidenses] tuvo repercusión inmediata, ya que resolvía las inconsistencias del modelo de quarks (del que después hablaremos). Además, gracias a su trabajo, la teoría permitía realizar muchos cálculos. Estos cálculos, y las correspondientes medidas experimentales, se han ido realizando a lo largo de los años, con excelente acuerdo; cuando escribí la primera edición del libro sobre interacciones de quarks *The Theory of Quark and Gluon Interactions*, en 1983, la teoría estaba sólidamente establecida. Por eso parece extraño que una teoría formulada en 1973, y comprobada experimentalmente ya en 1983, haya tenido que esperar hasta 2004 para recibir el Premio Nobel.

Muy probablemente un motivo para este retraso hayan sido los desencuentros y equívocos que acompañaron a los cálculos que originaron el descubrimiento de la libertad asintótica, ahora premiado. Desencuentros que comenzaron casi desde que, en 1964, el gran físico estadounidense Murray Gell-Mann propuso, para explicar las propiedades del núcleo atómico, que los neutrones y protones que lo forman no son elementales, sino que están hechos cada uno de partículas más elementales aún, para las que Gell-Mann inventó el nombre de quarks. A pesar de los éxitos indudables de dicho modelo, pocos físicos lo tomaron en serio durante los siguientes nueve años: incluso el propio Gell-Mann los consideraba ficticios aún en 1972.

Había buenas razones para este escepticismo. El modelo de quarks era un conjunto de recetas *ad hoc*, con la contradicción, aparentemente insalvable de que, como indicaban multitud de experimentos, los quarks se comportaban como si fuesen libres cuando estaban muy cerca uno de otro; pero era imposible aislarlos. Y, por aquellos años, no era Gell-Mann el único ilustre representante de la corriente escéptica.

Coincidió con David Gross en el CERN [Laboratorio Europeo de Física de Partículas, junto a Ginebra] en 1968-1969. Él no creía en teorías de tipo Yang-Mills (uno de los tipos de interacciones que se habían propuesto para describir las interacciones de quarks).

Cuando volvió a EE UU, Gross propuso a uno de sus estudiantes de doctorado, Wilczek, que calculara ciertas propiedades de estas teorías con la idea de demostrar que no podían servir para describir las propiedades de los quarks que acabamos de comentar. Pero Gross y Wilczek, con cierta ayuda de Politzer -que había resuelto el problema independientemente- hallaron el resultado opuesto al que esperaban.

Entre las muchas teorías que se idearon para describir las interacciones fuertes tenemos las que a la postre resultaron ser las correctas, las ya citadas teorías de Yang-Mills. Éstas son similares a las interacciones electromagnéticas, excepto que las propias *fuerzas* tienen autointeracciones: es como si la luz tuviese carga eléctrica y un rayo de luz pudiese desviar a otro.

Para conocer las propiedades de una interacción (en particular en una interacción de Yang-Mills), cuando las partículas que la sufren se encuentran muy cerca unas de otras, basta calcular un cierto coeficiente, que resume las correcciones cuánticas y relativistas, y que se denota por  $b$ .

Si este coeficiente es negativo, la interacción se hace más y más pequeña cuando las partículas se acercan. Pero la propiedad de autointeracción de las fuerzas hace extremadamente complicados los cálculos en una teoría de tipo Yang-Mills, lo que imagino que explicará mucho de lo que sigue.

Varios científicos evaluaron la cantidad  $b$  para distintos modelos de interacciones fuertes: en todos los casos, su valor resultaba positivo. Daba la impresión de que esta positividad fuese una propiedad general de las teorías cuánticas y relativistas. Como ya hemos mencionado, Gross propuso a Wilczek calcular la cantidad  $b$  en teorías del tipo Yang-Mills (eran las únicas para las que -creían- no se había evaluado aún) para comprobar que  $b$  también era positivo en este tipo de teorías.

Pero lo cierto es que el coeficiente  $b$  sí había sido calculado antes de que lo intentaran Gross y Wilczek. En primer lugar en Rusia, por Terentiev y Vanyashin (1965) y por Khriplovich (1969). Estos cálculos, sin embargo, no tenían mucho valor; en aquella época no se sabía si una teoría de tipo Yang-Mills era autoconsistente, de manera que el valor del coeficiente  $b$  que encontraron estos autores era meramente anecdótico y, como tal, fue olvidado durante bastante tiempo.

Sin embargo, la situación era distinta con los cálculos de los holandeses Veltman y, sobre todo, de 't Hooft. En sus estudios de teorías tipo Yang-Mills para las interacciones *débiles*, Veltman había encontrado el valor del coeficiente  $b$ . Gerardus 't Hooft también lo había evaluado como parte de su demostración de la autoconsistencia de dichas teorías.

El valor de  $b$  resultaba negativo; pero los holandeses no dieron a este resultado suficiente importancia como para publicarlo. ¿Cuál es el motivo de esta aparente falta de interés? No hay duda de que 't Hooft sabía que  $b$  es negativo en una teoría de tipo Yang-Mills. En el verano de 1972 se organizó en Marsella un simposio dedicado a estas teorías, donde se discutieron las interacciones fuertes de los quarks.

Como ya hemos comentado, de los análisis experimentales de colisiones a gran energía se deducía que los quarks parecían comportarse como partículas libres. Pero esto no ocurría en ninguna de las teorías de interacciones comúnmente utilizadas. ¿Y en las de Yang-Mills? ¿Sería el coeficiente  $b$  negativo en teorías de tipo Yang-Mills?

En este simposio de Marsella el alemán Kurt Symanzik hizo esta pregunta a la audiencia: ¿Había alguien calculado  $b$ ? Gerardus 't Hooft estaba en la sala y contestó que él lo había calculado y que era negativo. Symanzik comentó que ése era un resultado muy importante. Pero, obviamente, 't Hooft no captó la relevancia de este hecho o, si lo hizo, no tuvo la visión suficiente como para publicarlo.

Por otra parte Veltman, en su conferencia al recibir el premio Nobel, admitió explícitamente: "Yo no sabía de libertad asintótica y no entendí la relevancia de este cálculo en aquella época".

No era Symanzik el único que era consciente de que podía explicarse la aparente falta de interacción entre los quarks a muy cortas distancias si el coeficiente  $b$  era negativo. También el italiano Giorgio Parisi lo era y, al parecer, preguntó en otra ocasión a Symanzik (como experto en el tema) si sabía de alguna teoría en la que esto ocurriera.

Nunca sabremos cuál fue el motivo por el que Symanzik (muerto prematuramente) no le contó a Parisi el resultado comunicado por 't Hooft: probablemente, porque éste no lo había publicado. Otro que estaba también en el ajo era el estadounidense Sidney Coleman, que fue quien sugirió el cálculo a Politzer. Y, por supuesto, estaban los que finalmente se llevaron el gato al agua: Gross y Wilczek, en la Universidad de Princeton, y el propio Politzer, en la Universidad de Harvard.