

# ¿COMO SE RECONOCE UN DESCUBRIMIENTO CIENTIFICO?

ALEJANDRO CASSINI

## 1. El descubrimiento de objetos

Los estudios filosóficos que se ocupan del problema del descubrimiento científico se concentran principalmente en la generación de hipótesis novedosas. El problema principal de este enfoque consiste en determinar si existen métodos para la invención de hipótesis o teorías que sean capaces de explicar una diversidad de fenómenos sorprendentes para los cuales se carece hasta el momento de una explicación satisfactoria. En general, no se trata de encontrar un algoritmo que, a partir de un conjunto de datos, produzca automáticamente nuevas hipótesis explicativas. La meta es, en mi opinión, delimitar un conjunto de reglas generales que, al ser aplicadas a un determinado dominio, permitan acotar y guiar la búsqueda de hipótesis novedosas. Hay, sin embargo, una amplia variedad de programas de investigación en curso que proponen enfoques muy diferentes acerca de la generación de nuevas ideas. Tales programas van desde la búsqueda por variación ciega hasta el descubrimiento automático por computadora<sup>1</sup>.

En los contextos científicos, en cambio, cuando se alude a descubrimientos por lo general no se hace referencia a hipótesis o teorías, sino ante todo a objetos o entidades del mun-

<sup>1</sup> Nickles (1985) contiene una lúcida exposición de las primeras etapas de los estudios sobre descubrimiento, a los cuales él mismo hizo aportes considerables. Blachowicz (1998) Caps. 1-9, es una actualización del tema que incluye sus propias ideas sobre la llamada lógica de la corrección de hipótesis. En Cassini (1998) y (1999) me he ocupado de revisar dos programas diferentes sobre la generación de hipótesis, la epistemología evolucionista y el descubrimiento automático inductivo, respectivamente. Shapere (2000) trata de esclarecer los diferentes sentidos en que decimos que una idea es nueva o una hipótesis es novedosa.

do físico. Este es el sentido que se emplea cuando se dice, por ejemplo, que Joseph Priestley descubrió el oxígeno o que Carl Anderson descubrió el positrón. Muchas de estas atribuciones de descubrimientos a una persona determinada en un lugar y momento determinados son, como veremos, sumamente discutibles, cuando no directamente erróneas. No obstante, lo que me interesa señalar ahora es que el descubrimiento científico es, en uno de sus aspectos más importantes, descubrimiento de objetos o entidades del mundo físico. Los filósofos de la ciencia tradicionalmente han prestado escasa atención a esta forma de descubrimiento, que es la que intentaré analizar aquí.

En este trabajo quiero ocuparme de dos temas que se hallan inseparablemente relacionados: el descubrimiento de nuevas clases de objetos y la manera en como tales descubrimientos llegan a ser reconocidos y aceptados por las comunidades científicas. El reconocimiento de que se ha descubierto un objeto de una especie hasta el momento desconocida implica la categorización de tal objeto mediante los conceptos de alguna teoría, su asimilación al cuerpo de conocimientos aceptado. Si este reconocimiento no se produce, el descubrimiento no será considerado como tal. Kuhn (1962) fue el primero en señalar esta conexión y en comenzar a estudiar el proceso de asimilación de los descubrimientos novedosos.<sup>2</sup> También inició el análisis de las razones por las cuales este tipo de reconocimiento suele ser bastante dificultoso y extenderse a lo largo de lapsos considerables. Aquí me propongo profundizar las ideas de Kuhn sobre este punto (que son independientes de sus tesis más conocidas sobre paradigmas y revoluciones científicas) indicando diversas razones adicionales que obstaculizan el reconocimiento de los descubrimientos de nuevas especies de entidades. Ilustraré cada una de ellas

<sup>2</sup> Kuhn expresó la idea de esta manera: "...descubrir una nueva clase de fenómeno es necesariamente un proceso complejo que implica reconocer tanto *que* algo es como *qué* es. Observación y conceptualización, hecho y asimilación del hecho a la teoría, están inseparablemente ligados en el descubrimiento de una novedad científica." (Kuhn 1962, p. 161).

mediante el análisis de casos pertenecientes a la historia de la física contemporánea. Finalmente, extraeré algunas conclusiones acerca de las implicaciones teóricas de este tipo de descubrimientos, conclusiones que considero válidas para todo el ámbito de las ciencias naturales<sup>3</sup>.

En primer lugar, tomaré como punto de partida la siguiente caracterización general del descubrimiento de objetos o entidades. Decimos que una entidad se descubre en un momento dado cuando se dan las siguientes condiciones: A) se la conoce en ese momento (y antes era desconocida) y B) tal entidad es independiente del descubridor (y preexistía inmediatamente antes de ser descubierta). Si no se cumple la primera condición decimos que se produce, a lo sumo, un redescubrimiento de la entidad. Si no se da la segunda condición, no hay descubrimiento, sino construcción, invención o incluso creación de la entidad. Lo anterior vale igualmente para objetos, procesos, eventos, hechos o propiedades en general.

La primera condición es de tipo epistemológico y viene a decir que no descubrimos las cosas que ya conocemos, sino solamente las que ignoramos. La segunda condición que enunciamos contiene el ingrediente ontológico esencial de todo descubrimiento. Aquello que se considere como descubrimiento dependerá de que se lo reconozca como preexistente al descubridor e independiente de él. Esto es tanto como afirmar que depende de las tesis ontológicas que se sustenten acerca de lo que hay o acerca del mobiliario del mundo, para usar dos expresiones conocidas. Esta caracterización es muy general y se aplica tanto a descubrimientos científicos como a cualquier otra clase de descubrimientos. En verdad, sólo he hecho explícitas las condiciones implícitas en el uso corriente del término "descubrimiento", al menos las que se encuentran en la definición del *Diccionario* de la Real Academia Española (1992, p. 705), donde se dice que descubrimiento es el "Ha-

<sup>3</sup> El problema del descubrimiento de nuevas clases de objetos indudablemente presenta aspectos diferentes en otros ámbitos, como la matemática y las ciencias sociales, pero aquí no me ocuparé de ellos.

llazgo, encuentro, manifestación de lo que estaba oculto o secreto o era desconocido”.

Ahora debemos preguntarnos acerca de las peculiaridades del descubrimiento científico, en particular, cuáles son los objetos o entidades que se descubren en las ciencias naturales. En general, los usos del término descubrimiento, tanto en contextos científicos como no científicos, no nos permiten obtener una respuesta precisa ni unívoca. El mismo término se aplica tanto a constructos teóricos, tales como leyes, teorías, hipótesis o teoremas, como a entidades reales, tales como objetos, eventos, procesos, hechos, artefactos y muchas otras cosas<sup>4</sup>. Por otra parte, la bibliografía filosófica sobre este tema es muy escasa. Hanson (1967) fue uno de los primeros en intentar una exploración preliminar del problema. Distinguió cuatro clases de descubrimientos que se diferencian por sus respectivos objetos. Cada una de ellas puede expresarse mediante una locución diferente, donde en todos los casos el término S denota al sujeto o sujetos que hicieron el descubrimiento y el término X denota al objeto o entidad descubierta<sup>5</sup>. 1) “S descubrió (un) X”, se refiere al descubrimiento de un objeto localizable, es decir, a un individuo de una determinada clase de objetos. En esta locución el término X puede reemplazarse por un nombre propio, como por ejemplo, “Herschell descubrió Urano”. 2) “S descubrió (el) X”, se refiere al descubrimiento de una clase de entidades o un proceso universal. En esta locución el término X puede reemplazarse por un nombre común, como por ejemplo, “Fleming descubrió la penicilina” o “Rutherford descubrió el protón”. 3) “S descubrió que X”, se refiere al descubrimiento de que tal y tal cosa sucede o es el caso. En esta locución, X no es un término, sino una variable proposicional que debe reemplazarse por una oración declarativa completa (por lo cual, la simbolización de

<sup>4</sup> Para comprobarlo se pueden consultar las entradas de cualquier diccionario de biografías científicas, como, por ejemplo, los de Miller (1996) y Porter y Ogilvie (2000).

<sup>5</sup> Aquí no sigo literalmente el texto de Hanson (1967), pp. 324-334, sino que lo adapto para poder traducirlo y explicarlo.

Hanson resulta inapropiada en este caso), como por ejemplo, "Yang y Lee descubrieron que la paridad no se conserva", o "Davisson descubrió que el electrón tiene propiedades ondulatorias". 4) "S descubrió (un) X como un (Y)", se refiere a la confrontación sin identificación de un objeto. Hanson no proporciona ejemplos, pero podríamos agregar algunos como "Priestley descubrió el oxígeno como aire deflogistizado", o "Penzias y Wilson descubrieron el fondo cósmico de microondas como exceso de ruido de antena".

Aquí me ocuparé exclusivamente del segundo tipo de descubrimiento que Hanson distingue, es decir, el descubrimiento de una nueva clase de entidades, tales como una nueva especie de partícula elemental o un nuevo tipo de objeto astronómico. En su trabajo pionero sobre el tema, Kuhn (1962) señaló que esta clase de descubrimiento frecuentemente no acontece en un lugar y momento determinados, sino que se desarrolla a lo largo de un proceso histórico que involucra a numerosas personas e instituciones en diferentes lugares y momentos. Consiguientemente, no es posible datar con precisión el descubrimiento de esa nueva clase de objetos ni atribuirlo a un solo científico, como suele ser práctica corriente en las historias de la ciencia. Kuhn ilustra este hecho con el bien conocido caso del descubrimiento del oxígeno, que es especialmente apropiado por la complicada situación que plantea. Evidentemente el descubridor del oxígeno no es aquel que aisló por primera vez una muestra más o menos pura de ese elemento químico sin haberlo reconocido como tal. En general, el descubrimiento de un nuevo tipo de entidades no se produce cuando alguien encuentra un ejemplar de una nueva clase de objetos sin reconocerlo como tal. Un auténtico descubrimiento de esta naturaleza implica *reconocer* que se ha encontrado un objeto que pertenece a una nueva clase de objetos hasta el momento desconocida. Este es con frecuencia un proceso muy complicado. Es el proceso de la asimilación por parte de la teoría del hecho de que existe una nueva clase de entidades. Esto sólo puede hacerse una vez que la teoría dispone del aparato conceptual suficiente como para categorizar al nuevo tipo de objeto e integrar esa catego-

ría dentro de la taxonomía de los objetos del dominio de dicha teoría o disciplina. Como hemos de ver, a menudo esto implica la realización de revisiones y cambios drásticos en la propia teoría o en toda una disciplina científica<sup>6</sup>.

Se sigue de todo lo anterior, que las dos condiciones antes enunciadas no son suficientes para que se produzca el descubrimiento de una nueva entidad o clase de entidades. Es necesario agregar una nueva condición tal como la siguiente: C) la entidad es reconocida como perteneciente a una determinada categoría de entidades, de la cual no se conocía hasta el momento ningún ejemplar. En el caso de los descubrimientos científicos este reconocimiento proviene no de la comunidad científica en general, sino de la subcomunidad de los especialistas en un determinado dominio<sup>7</sup>. Si se cumplen solamente las condiciones A) y B), podemos decir que se ha

<sup>6</sup> Esto es ciertamente lo que ocurrió en el caso del oxígeno, sobre el que no pretendo brindar aquí un análisis, sino sólo mencionarlo como ejemplo. Ni Priestley ni Lavoisier reconocieron al oxígeno como un elemento químico en el sentido actual del término porque no disponían del aparato conceptual necesario. Esto sólo ocurrió cuando la química sufrió una transformación completa. Pero este fue un proceso largo y complejo, al que no podemos darle fechas precisas de comienzo y terminación. El caso del oxígeno todavía desconcierta a los historiadores de la ciencia que desean encontrar un descubridor. Los diccionarios de biografías científicas de Miller (1996) y Porter y Ogilvie (2000) atribuyen el descubrimiento del oxígeno a Priestley, pero el primero al referirse a Lavoisier dice que "Scheele y Priestley habían producido oxígeno antes que él, pero fracasaron en comprender su significación" (Miller 1996, p. 193), mientras que el segundo aclara que "Priestley produjo 'aire deflogistizado' y Lavoisier comprendió la verdadera explicación de la combustión" (Porter y Ogilvie 2000, p. 594). Algo más realista otro diccionario de historia de la ciencia afirma que "aunque el oxígeno fue claramente 'descubierto' entre 1773 y 1777, la adjudicación de la prioridad a Scheele, Priestley o Lavoisier representa mal los complejos cambios implicados en el derrocamiento de la teoría del flogisto" (Bynum, Browne y Porter 1981, p. 338). Otro historiador simplemente desespera del asunto y dice que "es casi imposible saber exactamente lo que uno entiende por 'descubrimiento' en este caso" (Hankins 1984, p. 109). Espero aportar, aunque sea indirectamente, alguna claridad a esta cuestión.

<sup>7</sup> Es evidente, por ejemplo, que la comunidad de los psicólogos o la de los biólogos no desempeña ningún papel en el reconocimiento de los descubrimientos de la física de partículas elementales.

producido el descubrimiento no epistémico de un objeto. Pero esta clase de descubrimiento no tiene relevancia cognoscitiva. Únicamente cuando se cumple, además, la condición C) tenemos un descubrimiento en sentido epistémico, es decir, un descubrimiento que puede integrarse al cuerpo del conocimiento científico vigente en un momento dado. Más aun, los descubrimientos no epistémicos de objetos frecuentemente los advertimos después de que se ha producido el correspondiente descubrimiento epistémico. Una vez que hemos reconocido un objeto de cierta categoría como un nuevo tipo de objeto hasta el momento desconocido, podemos también determinar que diversos ejemplares de esa clase de objetos habían sido observados en ocasiones pasadas, sin reconocerlos como tales, por diversas personas en diversos lugares y circunstancias. Más adelante hemos de comentar ejemplos de esta situación. Ahora quiero examinar con más detalle la condición C), específicamente cuando se aplica al descubrimiento de una nueva categoría de objetos.

## **2. El reconocimiento de nuevas clases de objetos**

Kuhn (1962) señaló que existen dos situaciones diferentes cuando se produce el descubrimiento de una nueva clase de objetos. La primera se produce cuando la existencia de objetos de esa clase había sido predicha por alguna teoría. El descubrimiento, en este caso, se produce cuando se observa algún ejemplar de dicha clase de objetos y se lo reconoce como perteneciente a la clase de objetos que la teoría predecía. La segunda situación se presenta cuando se descubre una clase de entidades cuya existencia no había sido predicha por ninguna teoría científica anterior al descubrimiento. Kuhn observa con razón que en estos casos el reconocimiento y la asimilación del descubrimiento son mucho más difíciles. Puede ocurrir incluso que se desate una polémica acerca de qué clase de objeto se ha descubierto, o incluso acerca de si realmente se ha descubierto algo o no. La distinción de Kuhn me

parece un paso indispensable para aclarar el problema del reconocimiento de los descubrimientos científicos, pero, a la vez, creo que resulta insuficiente para discriminar entre diferentes casos históricos interesantes. Intentaré elaborar la dicotomía básica de Kuhn introduciendo varias distinciones adicionales dentro de su segunda categoría.

Ante todo, los descubrimientos imprevistos pueden ser objetos de una categoría que a la luz de las teorías vigentes se consideren físicamente imposibles o físicamente posibles. A su vez, dentro de los objetos físicamente posibles debemos distinguir entre aquellos que son categorizables por medio de las teorías existentes y aquellos que no son categorizables de esa manera. La primera situación se presenta cuando en el conocimiento científico vigente existe un marco conceptual y teórico adecuado como para categorizar al objeto descubierto; la segunda, cuando el marco conceptual disponible no es adecuado como para categorizar al objeto descubierto. Quiero aclarar estas distinciones mediante el análisis detallado de ejemplos de descubrimiento en la historia de la física y la astronomía recientes.

El caso más simple de reconocimiento se produce, sin duda, cuando una teoría predice la existencia de un nuevo tipo de entidades, nunca antes observadas hasta el momento en que se realiza tal predicción teórica. La historia de la física es pródiga en ejemplos de esta clase: J.C. Maxwell predijo la existencia de las ondas de radio deduciendo ese hecho de su teoría unificada de la electricidad y el magnetismo; la teoría de la relatividad general predijo la existencia de ondas gravitacionales y W. Pauli postuló la existencia del neutrino para explicar una aparente anomalía (la no conservación de la energía) en la desintegración radiactiva de los neutrones (desintegración Beta). Con frecuencia, aunque no siempre, la teoría permite predecir con bastante exactitud cuáles son las propiedades fundamentales de la nueva clase de entidades. Por ejemplo, si se trata de una nueva especie de partícula elemental, se podrá deducir de la teoría cuál es la carga eléctrica, el *spin* y la masa de la partícula en cuestión. La búsqueda



de evidencia observacional sobre la existencia de la nueva clase de entidades resulta guiada por la propia teoría, que indica con claridad qué es lo que se debe buscar. En caso de que la búsqueda sea exitosa y la entidad en cuestión se descubra efectivamente, el reconocimiento de que se ha descubierto precisamente esa clase de entidades no es, en general, demasiado problemático. Ya se sabe de antemano qué tipo de entidad se está buscando y cuáles son sus propiedades fundamentales, aquellas que nos permiten identificarla, si no con certeza, al menos más allá de toda duda razonable. En general, se identifica a la clase de entidades descubierta con aquella que la teoría predijo cuando las propiedades que la teoría atribuye a esa entidad coinciden, dentro del margen de error observacional y experimental, con aquellas que han sido observadas o medidas.

Un excelente ejemplo de esta situación lo proporciona el descubrimiento de la partícula  $\Omega$ . Hacia comienzos de la década de 1960 el número de partículas subatómicas observadas en los aceleradores se había incrementado en muchas decenas, hasta el punto de que ninguna teoría disponible en ese momento era capaz de ordenar esa multiplicidad mediante un modelo coherente e inteligible. En 1961, Murray Gell-Mann y Yuval Ne'eman propusieron, de manera independiente, un nuevo esquema clasificatorio para los hadrones (las partículas que experimentan la interacción fuerte)<sup>8</sup>. El esquema se basaba en una aplicación del grupo de simetría conocido como  $SU(3)$  y agrupaba a los hadrones en familias o supermultipletes cuyos miembros estaban relacionados entre sí por diversas propiedades cuánticas como el *isospin* y la extrañeza. Por razones de simetría, el esquema exigía que hu-

<sup>8</sup> Ne'eman (1961) y Gell-Mann (1961) y (1962). El trabajo de Gell-Mann de 1961, que contenía una teoría muy semejante a la de Ne'eman, no fue publicado. El artículo de Gell-Mann de 1962 tiene una presentación diferente. Gell-Mann y Ne'eman (1964) contiene las reimpressiones comentadas de los artículos originales, además de muchos otros trabajos relacionados. Ne'eman (1989) y Ne'eman y Kirsh (1996), pp. 198-205, ofrecen exposiciones de primera mano, pero más accesibles, de esta teoría.

quiera exactamente un número determinado de partículas en cada familia, que podía contener 1, 8, 10 ó 27 miembros. Además, permitía predecir con precisión la masa, el *spin*, la carga eléctrica y otras propiedades fundamentales de cada clase de partícula dentro de una familia. Sin embargo, hasta ese momento no habían sido observadas todas las partículas cuya existencia predecía el modelo clasificatorio de Gell-Mann y Ne'eman. Dicho esquema dejaba lugares vacíos, de una manera análoga a la tabla periódica de los elementos en la época que la propuso Mendeleiev. Por ejemplo, de una familia de 8 mesones con *spin* 0 sólo se conocían 7, pero el octavo (llamado  $\eta^0$ ) se descubrió ese mismo año, pocos meses después de su predicción teórica. Este hecho alentó a los físicos experimentales para emprender la búsqueda de otras partículas desconocidas que el modelo predecía. La partícula  $\Omega^-$  era el único miembro faltante de una familia de 10 bariones con *spin*  $3/2$ . De la teoría de Gell-Mann y Ne'eman se deducía que debía ser una partícula de carga negativa y dotada de una masa de 1.680 MeV (mega-electrovoltios). Además, predecía con exactitud todas las restantes propiedades que permiten identificar a una especie de partícula, como, por ejemplo, una vida media de  $10^{-10}$  segundos (que en física de partículas es suficientemente larga como para considerar a la  $\Omega^-$  como una partícula semiestable), y un número cuántico llamado extrañeza de -3. Ne'eman y Kirsh señalaron mucho tiempo después que "nunca antes los cazadores de partículas habían tenido un *identikit* tan perfecto de una partícula buscada" (Ne'eman y Kirsh 1996, p. 204).

En noviembre de 1963 un equipo de treinta y tres físicos del laboratorio de Brookhaven, en el estado de Nueva York, comenzó la búsqueda sistemática de la partícula  $\Omega^-$  tratando de detectarla entre los productos de la colisión de protones acelerados hasta alcanzar una energía de 33 GeV (giga-electrovoltios). A comienzos de febrero de 1964 se anunció que se habían identificado en el detector (una cámara de burbujas llena con hidrógeno líquido) las huellas de una partícula de carga -1, extrañeza -3 y masa de  $1.686 \pm 12$  MeV.

Los investigadores concluyeron que la partícula observada era efectivamente una  $\Omega$ , dado que sus propiedades coincidían perfectamente, dentro del margen de error observacional, que era muy pequeño, con las predichas por la teoría<sup>9</sup>. Sin embargo, el experimento no midió todas las propiedades que la teoría predecía. Específicamente, no se midió el *spin* de la  $\Omega$ , que debía ser de  $3/2$  según la teoría. Esto se deducía del hecho de que, según la teoría, todas las partículas de un mismo supermultiplete tenían que poseer el mismo valor de *spin*, y del hecho de que el *spin* de las partículas previamente observadas que pertenecían al mismo supermultiplete que la  $\Omega$  era de  $3/2$ . A pesar de no haber determinado el *spin* de la partícula hallada en el experimento de Brookhaven, los científicos la identificaron con la  $\Omega$ , principalmente por la coincidencia entre los valores predichos y observados de la masa y de la extrañeza de la partícula, y por el hecho adicional de que no se conocía ni se había postulado ninguna otra partícula que tuviera precisamente esa masa y extrañeza.

Este ejemplo nos muestra que la búsqueda de esta nueva clase de partícula estuvo guiada en su totalidad por las predicciones de la teoría de Gell-Mann y Ne'eman. Los físicos experimentales sabían exactamente qué tipo de objeto debían buscar. El reconocimiento de que se había descubierto una nueva especie de partícula subatómica resultó sencillo porque la teoría proporcionaba información precisa acerca de todas las propiedades suficientes para identificar a esa clase de partículas. Sólo fue necesario comparar las propiedades medidas del objeto observado con las predicciones de la teoría; y una vez comprobada su coincidencia, no hubo grandes dudas de que se había descubierto la partícula que se buscaba, a pe-

<sup>9</sup> Barnes y otros (1964), p. 206. Los autores afirmaban que: "En vista de las propiedades de carga ( $Q = -1$ ), extrañeza ( $S = -3$ ) y masa ( $M = 1.686 \pm 12 \text{ MeV}/c^2$ ) establecidas para la partícula..., sentimos que está justificado identificarla con la buscada  $\Omega$ ." (p. 206). Trigg (1975), pp. 265-281, da un comentario detallado de este experimento. Crease (1999) es una historia no técnica de los descubrimientos realizados en Brookhaven, incluyendo el de la  $\Omega$ .

sar de que no se observaron todas las propiedades que la teoría predecía. Este es un caso típico de descubrimiento, en el cual la teoría precede y anticipa a la observación. Pero, como hemos de ver enseguida, este tipo de descubrimiento no es en modo alguno el único ni el más frecuente.

Las cosas son muy diferentes cuando se descubre una nueva clase de entidades cuya existencia no había sido predicha por ninguna de las teorías vigentes acerca del correspondiente dominio, por ejemplo, el dominio de los objetos celestes o el de las partículas elementales. En este caso, las propiedades que nos permiten identificar a esa clase de entidades no son conocidas previamente y sólo se determinan de hecho mediante observación. Cuando se descubre un nuevo tipo de partícula elemental o un nuevo tipo de objeto celeste no previstos por ninguna teoría, no hay indicaciones teóricas acerca de los atributos de tales objetos. Con frecuencia ocurre que algunos de dichos atributos toman valores insólitos, por ejemplo, la masa de una partícula resulta superior en varios órdenes de magnitud a la masa de todas las partículas previamente conocidas, por lo que se planteará la duda acerca de si no se trata de simples errores de medición. Cuando existen dudas acerca de la determinación de varias de las propiedades fundamentales del objeto, se vuelve problemática la propia identificación del objeto descubierto. En tales circunstancias es muy probable que no haya acuerdo en el seno de la comunidad científica acerca de si realmente se ha descubierto una nueva clase de objetos.

El reconocimiento de que se ha descubierto un nuevo tipo de objeto es especialmente difícil cuando coexisten varias teorías o programas de investigación rivales acerca del dominio de objetos al cual, presumiblemente, pertenece el objeto descubierto. El supuesto objeto descubierto puede categorizarse de maneras diferente en cada sistema teórico, o incluso es posible que uno de los dos sistemas no sea capaz de asimilarlo en absoluto a su red conceptual y, por tanto, no lo reconozca como descubrimiento. Un caso de este tipo se plantea ya en el simple nivel de las entidades observables, si la

identificación de una nueva clase de entidad se efectúa mediante sistemas teóricos incompatibles. Observar un objeto, en el sentido epistémico del término observación, es categorizarlo mediante algún concepto, esto es, observarlo como un X o un Y<sup>10</sup>. En el caso de la observación científica estos conceptos proceden, aunque no siempre, de teorías científicas. Supongamos que el mismo objeto sea categorizado mediante dos conceptos diferentes procedentes de teorías rivales. El desacuerdo y la falta de reconocimiento mutuo sobre la entidad (proceso, evento, etc.) que se ha descubierto será, entonces, inevitable. Piénsese en la manera en que los cometas se categorizaban en la astronomía aristotélico-tolemaica (como fenómenos atmosféricos ocurridos en la región sublunar) y en la astronomía copernicana (después de Brahe y Kepler, que los conciben como fenómenos celestes). Este tipo de conflictos sólo puede resolverse, en última instancia, cuando una de las teorías rivales es abandonada por la correspondiente comunidad científica. No me ocuparé aquí de este tipo de problemas, por lo que en adelante he de suponer que, respecto de cada dominio de objetos, existe un único sistema teórico vigente en el momento en que se produce el descubrimiento de una nueva clase de objetos no prevista por el sistema.

Todo descubrimiento de alguna clase de entidades no prevista por una teoría representa, en mayor o menor medida, una anomalía para la teoría en cuestión. Como mínimo, se muestra la incompletitud de la teoría, que no ha sido capaz de concebir todos los objetos que caen bajo su dominio. La asimilación de un descubrimiento de este tipo implica siempre alguna modificación de la teoría, aunque sea simplemente la incorporación de la nueva clase de entidades al dominio de los objetos a los que se refiere dicha teoría. Hay diversas formas en las que puede asimilarse un descubrimiento, las cuales dependen de la manera en que la nueva clase de obje-

<sup>10</sup> También Hanson fue quien señaló con mayor insistencia este punto, especialmente en su libro póstumo (Hanson 1969, especialmente pp. 91-128.)

tos sea conceptualizada por la teoría vigente. La primera distinción fundamental que hicimos es aquella entre objetos que son físicamente posibles y objetos que son físicamente imposibles respecto de las teorías existentes acerca de un dominio determinado.

Son físicamente imposibles aquellos objetos cuya existencia está explícitamente prohibida por una determinada teoría. Tales son los objetos que tienen propiedades que, de acuerdo con esa teoría, ningún objeto físico puede poseer. Por ejemplo, según la teoría especial de la relatividad, ningún objeto dotado de masa puede moverse de un lugar a otro con una velocidad mayor que  $c$ , la velocidad de la luz en el vacío. Supongamos que se observara un objeto astronómico masivo y lejano que parece moverse con una velocidad mucho mayor que  $c$ . El reconocimiento de que se ha descubierto un objeto con esa propiedad será fuertemente resistido por la comunidad de los físicos porque contradice a una teoría básica y bien confirmada como la relatividad especial. En primera instancia es posible que se rechace llanamente el descubrimiento. Si diferentes observaciones independientes lo corroboran, se buscará recategorizar al objeto dentro del sistema vigente, mostrando que realmente no tiene la propiedad que se le adjudica y elaborando una explicación de la aparente violación de la relatividad especial. Sólo después de reiterados fracasos en la explicación del fenómeno dentro del sistema vigente se reconocerá el descubrimiento del objeto anómalo y se procederá a la reparación de la teoría aceptada. En este caso, la modificación debería ser drástica y afectaría también a otras teorías que presuponen a la relatividad especial.

En el campo de la astronomía encontramos frecuentes ejemplos de esta situación. Uno de ellos es el caso de las radiogalaxias y cuasares, cuya naturaleza todavía no se conoce con claridad. Los radiotelescopios terrestres más potentes permiten observar la actividad de galaxias muy lejanas que no son visibles porque emiten muy poca radiación en la región óptica del espectro electromagnético, pero que irradian una enorme cantidad de energía bajo la forma de ondas de ra-

dio. En algunos casos, producen explosiones de radioondas que parecen desplazarse a una velocidad mayor que la de la luz. Aparecen bajo la forma de grandes lóbulos que se extienden en direcciones opuestas hasta distancias de varios cientos de años luz<sup>11</sup>. Todas las explicaciones usuales de este fenómeno apelan a la idea de que no se trata de una velocidad real, sino aparente. La velocidad aparente de un objeto puede exceder en mucho la velocidad de la luz, aunque ese objeto se mueva con una velocidad mucho menor que  $c$ . A veces se llama a estos fenómenos pseudoprocesos causales, porque no tienen la capacidad de transmitir señales de un punto a otro del espacio<sup>12</sup>. Por ejemplo, el extremo de un rayo de luz que barre el espacio con movimiento circular, como si fuera un faro, puede alcanzar una velocidad arbitrariamente alta. Pero tal velocidad es puramente aparente, una suerte de ilusión óptica, puesto que el movimiento del rayo de luz nunca excede la velocidad  $c$ . Se han conjeturado diferentes tipos de mecanismos para explicar la aparente velocidad superluminal de la radiación emitida por las radiogalaxias. Uno de los que se consideran más plausibles consiste en suponer que en el núcleo de esta clase de galaxias se producen fuertes explosiones, las cuales emiten chorros de partículas de alta velocidad. Un movimiento superluminal aparente puede producirse en dirección transversal si la dirección de los chorros de partículas coincide con la dirección en la cual el observador ve la fuente de la radiación. Las causas de las explosiones en los núcleos de las radiogalaxias todavía son desconocidas, aunque se las ha tratado de explicar mediante diferentes hipótesis, como la existencia de inmensos agujeros negros, que, hasta ahora, no pueden considerarse bien confirmadas<sup>13</sup>. Puede ad-

<sup>11</sup> Por ejemplo, el caso que describen Davis, Unwin y Muxlow (1991).

<sup>12</sup> La noción de pseudoproceso causal la introdujo H. Reichenbach y la desarrolló W. Salmon. Véase Salmon (1998), especialmente el capítulo 25, donde se analiza el problema del tamaño de los quasares desde este punto de vista.

<sup>13</sup> Silk (2001), pp. 259-283, describe el estado actual del problema. La explicación vigente es que las radiogalaxias y los quasares son objetos

vertirse a partir de este ejemplo de qué manera los científicos elaboran hipótesis auxiliares complicadas con tal de evitar que la descripción de una nueva clase de objetos entre en conflicto con una teoría fundamental bien establecida. Ningún científico que acepte la teoría de la relatividad especial reconocerá el descubrimiento de galaxias que emiten radiación superluminal, al menos hasta que fracasen reiterados intentos de explicar ese fenómeno como un movimiento aparente.

Los objetos físicamente posibles son aquellos cuya existencia no está prohibida por las teorías vigentes. Sin embargo, puede ocurrir que un nuevo tipo de objeto descubierto se considere físicamente posible, pero no sea susceptible de categorización clara dentro del sistema teórico vigente. En algunos casos, el estado del conocimiento en un determinado dominio permite asimilar el descubrimiento de objetos de una nueva especie porque ya existe el aparato conceptual necesario como para categorizar a esa clase de objetos e incluirlos dentro de la taxonomía de los objetos de dicho dominio. Casi siempre se requerirán algunos cambios menores en el aparato conceptual de las teorías vigentes, pero tales cambios no implicarán revisiones drásticas de esas teorías. En otros casos, que son los más interesantes desde el punto de vista epistemológico, la asimilación del descubrimiento de una nueva clase de objetos requiere la creación de nuevos conceptos que se deben incorporar al aparato conceptual de las teorías vigentes. Generalmente esta introducción de nuevos conceptos no puede hacerse de manera simple y directa, sino que con-

---

de la misma especie, los cuales exhiben los efectos de núcleos galácticos activos. Se supone que la fuente de la enorme energía de estos núcleos es un agujero negro de enormes dimensiones que consume grandes cantidades de materia, bajo la forma de gas, de la galaxia que lo rodea. La hipótesis es altamente especulativa, pero se considera la mejor explicación disponible de los fenómenos observados en los cuasares y radiogalaxias. Dunlop (1997) proporciona una explicación general de este mecanismo, que se considera válido tanto para los cuasares como las radiogalaxias. Robson (1996) es un estudio muy detallado de los núcleos galácticos activos, e incluye un estudio extenso del problema de los aparentes movimientos superluminales, pp. 268-309.



lleva la revisión profunda de numerosas hipótesis teóricas. A veces, es incluso necesario reformular toda la taxonomía de los objetos del dominio, lo que da como resultado la aparición de un nuevo esquema conceptual. La diferencia entre estas dos situaciones extremas es evidentemente sólo de grado, por lo que son concebibles muchas situaciones intermedias en las que se producen revisiones más o menos profundas de los sistemas teóricos vigentes. Los dos casos extremos son, sin embargo, los más interesantes, dado su carácter paradigmático. Por esa razón quiero analizar detalladamente un ejemplo histórico de la física reciente.

### **3. El descubrimiento de los leptones pesados**

La física de partículas elementales es especialmente rica en ejemplos de descubrimientos no predichos por las teorías disponibles en un determinado momento histórico. Aquí me referiré al descubrimiento de dos nuevas especies de partículas, el muón y el tauón, que ilustran perfectamente las dos situaciones de asimilación teórica de un descubrimiento que he distinguido en la sección anterior, esto es, aquella en la que no existe un marco conceptual adecuado y aquella en la que ese tipo de marco conceptual se encuentra previamente disponible. El muón y el tauón son dos especies de partículas elementales que pertenecen, junto con el electrón, a la familia de los leptones. Los leptones son aquellas partículas que no experimentan la interacción nuclear fuerte y sólo reaccionan por medio de la interacción nuclear débil. El muón y el tauón se denominan genéricamente leptones pesados porque tienen todas sus propiedades idénticas a las del electrón, excepto la masa, que es mucho mayor<sup>14</sup>. La familia de los leptones se completa con los neutrinos asociados a cada partícula (electrónico, muónico y tauónico, respectivamente) y las correspondientes antipartículas (antielectrón, antineutrino

<sup>14</sup> La masa del electrón, según las mediciones actuales, es de 0.511 MeV, la del muón es de 105.66 MeV y la del tauón es de 1784 MeV.

electrónico, antimuón, antineutrino muónico, etc.). En total, los leptones suman doce clases de partículas elementales. Como hemos de ver, este marco conceptual no existía en la época en que se produjo el descubrimiento del muón, pero ya estaba firmemente establecido cuando se descubrió el tauón. Consiguientemente, el reconocimiento de estos dos descubrimientos tuvo características claramente diferentes.

Comencemos, siguiendo el orden histórico, por el descubrimiento del muón. Los hechos que llevaron al reconocimiento de esta nueva especie de partícula son numerosos y no forman una secuencia lineal. Aquí me limitaré a relatar solamente algunos aspectos esenciales de esta historia fascinante, que incluye toda clase de desarrollos tanto teóricos como experimentales<sup>15</sup>. El punto de partida teórico se produjo en 1934 cuando Hideki Yukawa elaboró un modelo que explicaba la fuerza que mantiene unidos a los protones y neutrones en los núcleos atómicos (luego denominada interacción fuerte). Yukawa (1935) partió de la idea, en ese momento novedosa, de que las fuerzas nucleares se transmiten mediante el intercambio de partículas masivas cargadas positiva y negativamente. La teoría de Yukawa predecía la existencia de una nueva clase de partícula, que era la mediadora o portadora de la fuerza fuerte. Yukawa supuso que el alcance de la fuerza fuerte no era mayor que el tamaño de un núcleo atómico ( $10^{-13}$  centímetros) y, aplicando el principio de que la masa de una partícula mediadora es inversamente proporcional al alcance de la fuerza que transmite, logró estimar la masa de la nueva partícula en aproximadamente 100 MeV. Llamó quantum U a esta nueva partícula, a la cual concibió, en analogía con el fotón como quantum del campo electromagnético, como el quantum del campo U.

En ese momento no se conocía ninguna partícula que tuviera una masa de ese orden de magnitud. El propio Yuka-

<sup>15</sup> Todo este proceso constituye el tema de un extenso libro (Brown y Rechenberg 1996), donde se encuentran referencias completas a todas las fuentes.

wa sugirió que la única fuente disponible de energía como para producir tales partículas eran los rayos cósmicos, que son partículas de muy alta velocidad provenientes del espacio exterior. Los rayos cósmicos se estudiaban desde comienzos de la década de 1930 y planteaban intrigantes enigmas<sup>16</sup>. Entre 1936 y 1937, C. Anderson y S. Neddermeyer, que ignoraban la teoría de Yukawa, encontraron partículas dotadas de una masa aproximada a la de la partícula de Yukawa en el análisis de los rayos cósmicos, que venían realizando desde hacía más de un año. En la publicación en que daban cuenta de ese hallazgo afirmaban que las partículas detectadas no podían ser electrones ni protones, sino “partículas de un nuevo tipo” (Neddermeyer y Anderson 1937, p. 886). Las llamaron mesotrones, porque su masa era intermedia entre la del electrón y la del protón. También el nombre “electrón pesado” se usó por un tiempo. Se suponía que los mesotrones se producían cuando los rayos cósmicos chocaban con los núcleos de los átomos de las capas externas de la atmósfera terrestre. Al poco tiempo, el propio Yukawa (1937) y, de manera independiente, R. Oppenheimer y R. Serber (1937) identificaron a los mesotrones con la partícula mediadora de la fuerza fuerte predicha en 1935. Esta identificación resultó errónea, pero el error sólo fue descubierto y corregido después de un complicado proceso de trabajo experimental<sup>17</sup>.

El estudio de los mesotrones muy pronto se encontró con anomalías notables respecto del tiempo de vida y de las interacciones de estas partículas. El análisis de los rayos cósmicos había mostrado que los mesotrones que penetraban la

<sup>16</sup> Para una historia general cfr. Friedlander (2000). Lock (1998) da una exposición más sintética. Anderson y Anderson (1983) ofrecen un relato de primera mano acerca de los descubrimientos de la década de 1930.

<sup>17</sup> Bernardini (1983), Piccioni (1983) y Conversi (1983) y (1988) ofrecen una descripción de primera mano de ese trabajo experimental. Foster y Fowler (1988) y Cahn y Goldhaber (1989) Cap. 2, contienen reimpressiones de las principales fuentes. El contexto general de estos descubrimientos se expone, con enfoques bastante diferentes, en Pais (1988) y Galison (1997). Lock (1998) es un resumen conveniente.

atmósfera y llegaban hasta el nivel del mar tenían tanto cargas positivas como negativas, en una proporción de 55% y 45%, respectivamente. En 1940 S. Tomonaga y G. Araki elaboraron la teoría de Yukawa y predijeron que los mesotrones positivos y negativos debían comportarse de manera diferente cuando interactuaban con los núcleos atómicos de la materia ordinaria. Dado que los núcleos tienen carga eléctrica positiva, los mesotrones negativos debían ser atraídos hacia el núcleo y absorbidos inmediatamente antes de que pudieran desintegrarse. Los mesotrones positivos, en cambio, al ser repelidos por el núcleo, debían tener una vida media mucho mayor, de aproximadamente  $2,2 \times 10^{-6}$  segundos, que es un tiempo bastante largo en el dominio de las partículas subatómicas. Los mesotrones positivos deberían orbitar alrededor del núcleo durante ese tiempo y desintegrarse produciendo electrones (Tomonaga y Araki 1940, p. 91).

A comienzos de 1941 se realizaron numerosos experimentos, tanto en Europa como en los Estados Unidos, con el objeto de medir el tiempo de vida media de los mesotrones. En 1942, B. Rossi y N. Nerenson, trabajando en la Universidad de Cornell, observaron la desintegración de los mesotrones positivos y confirmaron que su vida media coincidía con las predicciones teóricas de Tomonaga y Araki. Midieron un valor de 2,3 microsegundos (Rossi y Nerenson 1942, p. 417). Los llamaron mesotrones lentos, aunque al poco tiempo comenzó a emplearse la denominación de mesones lentos. Mientras tanto, en Roma, M. Conversi, E. Pancini y O. Piccioni habían iniciado experimentos para medir también el tiempo de vida de los mesotrones negativos. Primero obtuvieron resultados acerca de la desintegración de los mesotrones positivos que coincidían, dentro del margen de error observacional, con la teoría de Tomonaga y Araki y con las mediciones de Rossi y Nerenson. A partir de 1944 idearon otro experimento para determinar si los mesotrones negativos eran absorbidos por los núcleos atómicos antes de desintegrarse, como había sido predicho.

El segundo experimento de Conversi, Pancini y Piccioni dio un resultado inesperado. Mostró que los mesotrones nega-

tivos también se desintegraban en vez de ser absorbidos por los átomos de carbono del dispositivo experimental. Ello implicaba que el tiempo de vida media de esas partículas era del orden de los  $10^{-6}$  segundos, es decir, aproximadamente igual al de los mesotrones positivos. Conversi, Pancini y Piccioni se limitaron a informar sus resultados experimentales sin hacer un detallado análisis teórico de la situación. No obstante, expresaron claramente que sus observaciones eran “inconsistentes con las predicciones de Tomonaga y Araki” (Conversi, Pancini y Piccioni 1946, p. 209). Inmediatamente después de conocido este experimento, E. Fermi, E. Teller y V. Weisskopf realizaron cálculos detallados a partir de las hipótesis de Tomonaga y Araki y concluyeron que la discrepancia entre la teoría y la experimentación respecto del valor de la vida media de los mesotrones negativos era de 12 órdenes de magnitud (Fermi, Teller y Weisskopf 1947). Los mesotrones negativos, según la teoría, no podían tener una vida mayor que  $10^{-18}$  segundos, pero los experimentos mostraban que de hecho era de  $10^{-6}$  segundos. El desacuerdo entre teoría y experiencia era tan grande como para tener la certeza de que algo estaba funcionando muy mal en la física de partículas.

En situaciones como esta, generalmente se revisan tanto los presupuestos teóricos como los resultados experimentales. Y eso es lo que efectivamente ocurrió. Conversi, Pancini y Piccioni repitieron cuidadosamente sus experimentos y examinaron todos sus instrumentos tratando de encontrar alguna fuente de error. Pero todo funcionaba perfectamente y los resultados que se observaban permanecían estables. Tampoco se encontraron errores en la deducción de las predicciones de la teoría de Tomonaga y Araki. A los pocos meses, en el mismo año 1947, se descubrió la clave que permitiría ubicar el error. R. Marshak y H. Bethe propusieron la hipótesis de que existían dos clases de mesones diferentes, que se habían considerado idénticos hasta ese momento. Uno era el mesón de Yukawa y el otro era el observado por Conversi, Pancini y Piccioni (Marshak y Bethe 1947). La misma hipótesis había sido propuesta en 1943 por S. Sakata y T. Inoue en un traba-

jo publicado en japonés, que, por las contingencias de la guerra, no se publicó en inglés hasta 1946, en una revista fundada por Yukawa<sup>18</sup>. También en el año 1947, tan rico en episodios, C. Lattes, G. Occhialini y C. Powell, trabajando en Inglaterra, registraron las huellas de dos tipos diferentes de mesones en placas fotográficas. En las fotografías observaron los rastros de una partícula cargada cuya masa estimaron en unas doscientas veces la masa del electrón. También observaron que dicha partícula se desintegraba y que uno de sus productos de desintegración era otra partícula que tenía aproximadamente la misma masa que la partícula primaria. En su análisis de este episodio, Lattes, Occhialini y Powell afirmaban que “los mesones  $\pi$ -positivos sufren desintegración y dan origen a los  $\mu$ -mesones [...] los mesones  $\pi$ -negativos son capturados por los núcleos para producir desintegraciones con la emisión de partículas pesadas” (Lattes, Occhialini y Powell 1947, 490). Luego, concluían que “la mayoría de los mesones observados al nivel del mar son m-mesones formados por la desintegración en vuelo de  $\pi$ -mesones” (p. 492). Marshak y Bethe conocían estos resultados y los citaron en su trabajo. Sugirieron identificar los mesones que llaman pesado y liviano con las partículas  $\pi$  y  $\mu$  observadas por Lattes, Occhialini y Powell (Marshak y Bethe 1947, p. 506). También propusieron que los procesos de desintegración eran los siguientes: neutrón  $\rightarrow$  mesón pesado + neutrino; y mesón pesado  $\rightarrow$  mesón liviano + neutrino (p. 509). A partir de ese momento se aceptó que las partículas que se producían en los rayos cósmicos eran  $\pi$ -mesones, que se desintegraban produciendo  $\mu$ -mesones. Al poco tiempo estas partículas se llamaron piones y muones, respectivamente. El pión era la

<sup>18</sup> Sakata e Inoue (1946). El hecho de que se tratara del primer número de una revista japonesa seguramente hizo que no se difundiera en los Estados Unidos. Marshak y Bethe no conocían ese trabajo cuando publicaron su artículo en 1947, pero la prioridad corresponde indudablemente a Sakata e Inoue. Estos autores fueron los primeros en afirmar que los  $\pi$ -mesones se desintegraban produciendo  $\mu$ -mesones, los cuales no interactúan mediante la fuerza fuerte con los núcleos atómicos.

partícula de Yukawa mediadora de la fuerza fuerte, mientras que el muón era la partícula observada en los rayos cósmicos por Conversi, Pancini y Piccioni, y por muchos otros antes que ellos, pero sin haberla reconocido. Así comenzó a resolverse una de las crisis de identidad de la física de partículas.

Los estudios posteriores, de los cuales no nos ocuparemos aquí, se encargaron de determinar con precisión la masa, la carga y las demás propiedades de los piones y muones. El advenimiento de nuevos aceleradores y detectores de partículas permitió observar los modos de desintegración de cada una de estas partículas<sup>19</sup>. Como resultado de un largo proceso de análisis teórico y trabajo experimental, se reconoció que se trataba de dos partículas de especies completamente diferentes. Tales partículas poseen, sin embargo, masas muy semejantes (139 MeV los piones y 105 MeV los muones), lo cual explica en parte el hecho de que se las confundiera durante años. Pero respecto de todas las demás propiedades que caracterizan a una clase de partículas, son muy diferentes entre sí. Existen piones cargados y neutros, pero no hay muones neutros. Los muones se desintegran produciendo electrones, pero esto no ocurre con los piones. Más importante aun, los piones son bosones, partículas de *spin* entero (0 en este caso), mientras que los muones son fermiones, partículas de *spin* fraccionario (1/2 en este caso). Además, los piones son hadrones, es decir, partículas que experimentan la interacción fuerte (como los protones y neutrones), pero los muones son leptones, o sea, partículas que experimentan la interacción débil, pero no la fuerte (como los electrones y neutrinos). Después de conocidas todas estas propiedades, el muón tuvo que ser recategorizado. No se trataba de un mesón, como se había conjeturado cuando se lo distinguió del pión, puesto que todos los mesones son hadrones. El muón debía clasificarse como un leptón, junto con los electrones y neutrinos. En

<sup>19</sup> Este proceso constituye la historia de la física de partículas durante la década de 1950 y comienzos de la de 1960. Sobre este punto véanse las obras de Brown, Dresden y Hoddeson (1989), Ne'eman y Kirsh (1996), Galison (1997) y Fraser (1998).

última instancia, no había dos mesones diferentes, sino dos partículas de géneros diferentes: un hadrón y un leptón. Pero esto sólo se aclaró una vez que se revisó todo el esquema clasificatorio de las partículas elementales. En 1949, en su discurso de recepción del premio Nobel, Yukawa podía decir justificadamente que la hipótesis de los dos mesones se había confirmado (Yukawa 1949, p. 758). Posteriormente, el reconocimiento de la naturaleza leptónica de los muones abrió un nuevo capítulo en la física de partículas, que condujo a la teoría de las interacciones débiles tal como hoy la conocemos<sup>20</sup>.

Es interesante comparar el descubrimiento del muón con el del tauón, que es otro leptón mucho más pesado. Hacia mediados de la década de 1970, la teoría aceptada de las partículas elementales reconocía la existencia de cuatro clases de leptones (con sus respectivas antipartículas), pero no predecía la existencia de otras nuevas partículas dentro de esta categoría. En 1975 M. Perl al frente de un equipo de físicos experimentales del SLAC (acelerador lineal de Stanford) encontró evidencia de la existencia de un nuevo leptón con una masa aproximadamente igual a 3500 veces la masa del electrón. Perl y su grupo se encontraban estudiando los resultados de la colisión de electrones y positrones de alta energía. Esta vez no se observó la huella de ninguna partícula cargada, sino los productos de la aniquilación de electrones y positrones. Estos productos incluían muones positivos y negativos tanto como electrones y positrones, además de una cantidad considerable de masa y momento faltantes. Suponiendo que la masa y el momento se conservan en toda reacción entre partículas, y habiendo verificado que no se detectaba ninguna otra partícula en la reacción, Perl postuló que en cada evento en el que un electrón y un positrón se aniquilaban, se producían dos partículas de una nueva especie, cuya masa estaba entre 1600 y 2000 MeV<sup>21</sup>. La nueva

<sup>20</sup> Para una introducción a la teoría de las interacciones débiles véase Coughlan y Dodd (1991).

<sup>21</sup> Perl y otros (1975) p. 1492. Es interesante señalar dos rasgos de este trabajo. Primero, que la observación de la nueva partícula presupone



partícula se conoció al poco tiempo como tauón. Diversos experimentos posteriores permitieron determinar que la masa de la partícula era de 1784 MeV y su vida media de solamente  $3,1 \times 10^{-13}$  segundos. Hacia 1978 la existencia de un tercer leptón, junto con su neutrino asociado, ya había sido reconocida y aceptada por la comunidad científica.

En esta ocasión, el reconocimiento de que se había descubierto una nueva clase de partícula fue rápido y relativamente simple. Obviamente, ya se había aprendido la lección que brindara el descubrimiento del muón. Pero, en mi opinión, la razón principal de este rápido reconocimiento reside en el desarrollo conceptual alcanzado por la física de partículas en ese momento. Tanto el hallazgo del muón como el del tauón fueron descubrimientos inesperados de partículas cuya existencia no había sido predicha por las respectivas teorías vigentes en cada época. Sin embargo, el descubrimiento del tauón pudo ser asimilado sin mayores problemas conceptuales, ya que el concepto de leptón era bien conocido y ninguna teoría predecía un límite superior en el número de clases de leptones. Sólo fue necesario ampliar el número de especies de partículas que pertenecían a la familia de los leptones. Cuando se descubrió el muón, en cambio, no existía la categoría de leptón y el concepto de mesón estaba apenas surgiendo en medio de un estado de inestabilidad teórica. En ese momento, ninguna hipótesis sugería que pudiera haber otras espe-

---

una inferencia a la mejor explicación. La creación de dos partículas de una nueva especie dotadas de esa masa determinada es la mejor explicación, a la luz del conocimiento disponible, de los eventos observados en la aniquilación de electrones y positrones. Este es un patrón de razonamiento típico que se repite en la mayoría de los artículos que informan acerca del descubrimiento de una nueva especie de partícula. Segundo, que es un producto de la época de la *Big Science*, lo cual se revela en el simple hecho de que está firmado por treinta y tres coautores. El número de firmas en los artículos de esta naturaleza no ha hecho sino crecer desde entonces, a medida que los proyectos de investigación se volvieron más grandes y costosos. En cambio, los trabajos sobre la observación de los mesotrones que citamos antes estaban firmados por sólo dos o tres coautores, y, además, no requerían instrumental ni laboratorios especialmente costosos.

cies de partículas semejantes al electrón que formaran parte de una misma familia. La física de partículas tal como existía a mediados de la década de 1970 permitió asimilar el descubrimiento del tauón realizando solamente cambios menores en su esquema conceptual. Por su parte, la física de partículas en la década de 1940 no tenía los elementos conceptuales suficientes como para categorizar al pión y al muón de manera tal que se pudiera comprender adecuadamente la diferencia entre estas dos clases de partículas. Se tardó aproximadamente quince años en reconocer que eran dos partículas diferentes y un tiempo casi equivalente para comprender que no eran dos especies de mesones. Dicho logro requirió cambios teóricos importantes, no sólo en la taxonomía de las partículas subatómicas, sino también en otros aspectos más profundos de la física de partículas. Así surgieron, entre otras innovaciones, la distinción entre las interacciones nucleares fuertes y débiles, y la física de los leptones como una nueva rama de la teoría de las partículas elementales.

#### 4. Conclusión

Las obras corrientes sobre biografías científicas atribuyen el descubrimiento del muón a Carl Anderson<sup>22</sup>. La historia de dicho descubrimiento, que apenas hemos reseñado, nos muestra claramente que esa atribución es dudosa, si no directamente injusta. El proceso del descubrimiento del muón, incluyendo su reconocimiento como una nueva especie de la familia de los leptones, fue un largo proceso que empezó antes y terminó mucho después de los experimentos de Anderson con los rayos cósmicos. Retrospectivamente, podemos decir que Anderson y Neddermeyer observaron las huellas de muones alrededor de 1937, pero no los reconocieron como tales, sino como un cierto tipo de mesones, los cuales, por otra

<sup>22</sup> Por ejemplo, los ya citados diccionarios de Miller (1996), p. 6; y Porter y Ogilvie (2000), p. 80.

parte, fueron luego erróneamente identificados con los mesones de Yukawa. Es un hecho, además, que otros antes que ellos observaron las huellas de los muones sin reconocerlos. En 1929 W. Bothe y W. Kolhörster observaron que una parte de los rayos cósmicos eran partículas altamente ionizantes, capaces de atravesar gruesas capas de metal<sup>23</sup>. Nuevamente, desde nuestra perspectiva actual, sabemos que habían observado muones. En 1933 P. Kunze, trabajando en Rostock, detectó las huellas de una partícula desconocida que, según sus palabras, "ionizaba muy poco para ser un protón y demasiado para ser un electrón positivo"<sup>24</sup>. También había observado muones sin reconocerlos. La primera conclusión que quiero extraer del estudio de este caso corrobora la idea de Kuhn, según la cual el descubrimiento es un proceso histórico. No podemos establecer con precisión quién descubrió el muón ni cuando lo hizo porque no fue un descubrimiento realizado en un momento determinado por una persona determinada. El experimento de Anderson y Neddermeyer fue solamente una de las etapas de este proceso, el cual involucró a muchos otros científicos trabajando en diferentes lugares a lo largo de un período de más de veinte años.

Las observaciones del muón sin el reconocimiento de qué clase de entidad se había observado no constituyen por sí mismas el descubrimiento de esta partícula. A lo sumo, constituyen una etapa inicial del proceso de descubrimiento. Esto vale en general para cualquier descubrimiento de un nuevo tipo de entidades. Las comunidades científicas sólo reconocen esta clase de descubrimientos una vez que han sido asimilados por las teorías vigentes. Llegamos así a la conclusión de que la asimilación del objeto descubierto mediante el conocimiento aceptado en un momento dado constituye un elemento esencial del proceso de descubrimiento; una condición necesaria sin la cual no hay descubrimiento científico en sentido estricto.

<sup>23</sup> Bernardini (1983), pp. 155 y 170.

<sup>24</sup> Citado por Brown y Rechenberg (1996), p. 121.

El descubrimiento de una nueva clase de objetos cuya existencia no había sido predicha por las teorías vigentes acerca de un dominio dado, siempre constituye una anomalía para tales teorías. Kuhn señaló que este tipo de descubrimientos usualmente comienza por la observación de alguna anomalía (Kuhn 1962, p. 173). Pero esta no es una mera coincidencia de hecho. Si lo que se ha observado es realmente una nueva clase de objeto, la situación no puede sino resultar anómala para las teorías vigentes. En primer lugar, porque se hace evidente la incompletitud de dichas teorías, que se muestran incapaces de referirse a la totalidad de los objetos que pertenecen a su supuesto dominio de aplicación. En un sentido mucho más importante, porque puede quedar al descubierto la insuficiencia del aparato conceptual de las teorías aceptadas, que no resulta apto para categorizar el objeto observado, el cual, entonces, necesariamente aparece como anómalo a la luz de tales teorías. Finalmente, porque puede incluso resultar que las hipótesis fundamentales de algunas teorías aceptadas aparezcan como dudosas o cuestionadas por la observación de fenómenos que, sobre la base de esas mismas hipótesis, deberían considerarse como físicamente imposibles.

La asimilación del descubrimiento de una nueva clase de objetos por parte de una teoría se consuma cuando dichos objetos se pueden categorizar mediante los conceptos de la teoría e integrar coherentemente en la taxonomía de los objetos que constituyen el dominio de la teoría. Si ello es así, podemos advertir que este tipo de descubrimientos implica siempre algún cambio o reformulación de las teorías vigentes. Por consiguiente, el descubrimiento no puede ser reconocido como tal hasta tanto se hayan producido las revisiones necesarias en el conocimiento teórico. Tales revisiones pueden ir desde la simple adición de un nuevo concepto clasificatorio, hasta la modificación drástica de todo el sistema taxonómico de una teoría. Las revisiones profundas pueden llevar incluso a la modificación de hipótesis fundamentales, produciendo literalmente auténticos cambios de teoría.

En algunas ocasiones, el reconocimiento de que se ha descubierto un nuevo tipo de objeto no puede hacerse sin llevar a cabo cambios profundos en el conocimiento aceptado en una determinada época. La resistencia de las comunidades científicas a modificar las teorías vigentes generalmente explica también la resistencia a reconocer el descubrimiento de esta clase de objetos. A veces, cuando se emprende la tarea de revisar el conocimiento vigente, puede ocurrir que, durante un tiempo prolongado al menos, no se encuentre la manera de obtener una teoría coherente que permita asimilar la nueva clase de objetos. Consiguientemente, las dificultades para modificar de manera consistente las teorías vigentes constituyen la razón por la cual el reconocimiento de un descubrimiento científico de esta clase es con frecuencia un proceso largo y lleno de obstáculos. Por lo general, no se puede prever de antemano cuántos ni cuáles serán los cambios necesarios, pero los expertos de cada disciplina frecuentemente intuyen cuándo se avecinan transformaciones profundas. La observación reiterada y bien confirmada de un nuevo tipo de objeto que resiste toda categorización dentro del marco conceptual de las teorías vigentes es casi siempre un indicio seguro de que dichas teorías, tarde o temprano, serán revisadas.

CONICET - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

## BIBLIOGRAFIA

- Anderson, C. y L. Anderson (1983), "Unraveling the Particle Content of Cosmic Rays", en: Brown, L. y Hoddeson, L. (eds), pp. 131-154.
- Barnes, V. E. y otros (1964), "Observation of a Hyperon with Strangeness Minus Three", *Physical Review Letters*, 12, 8, pp. 24-206.
- Bernardini, G. (1983), "The Intriguing History of the  $\eta$  Meson", en: L. Brown y L. Hoddeson (eds), pp. 155-172.
- Blachowicz, J. (1998), *Of Two Minds: The Nature of Inquiry*. New York, State University of New York Press.

- Brown, L.; Dresden, M. y Hoddeson, L. (eds.) (1989), *Pions to Quarks: Particle Physics in the 1950's*. New York, Cambridge University Press.
- y Hoddeson, L. (eds.) (1983), *The Birth of Particle Physics*. Cambridge, Cambridge University Press.
- y Rechenberg, H. (1996), *The Origin of the Concept of Nuclear Forces*. Bristol, Institute of Physics Publishing.
- Bynum, W.; Browne, E. y Porter, R. (eds.) (1981), *Dictionary of the History of Science*. Princeton, Princeton University Press.
- Cahn, R. N. and Goldhaber, G. (eds.) (1989), *The Experimental Foundations of Particle Physics*. Cambridge-New York, Cambridge University Press.
- Cassini, A. (1998), “El problema heurístico en la epistemología evolucionista”, en: *Manuscrito*, Vol. XXI, Nº 2, pp. 15-43.
- (1999), “Inducción y descubrimiento automático”, en: *Revista Latinoamericana de Filosofía*, Vol. XXV, Nº 1, pp. 87-107.
- Conversi, M. (1983), “The Period that Led to the 1946 Discovery of the Leptonic Nature of the ‘Mesotron’”, en: Brown, L. y L. Hoddeson (eds.), pp. 242-250.
- (1988), “From the Discovery of the Mesotron to that of its Leptonic Nature”, en: Foster y Fowler (eds.), pp. 1-20.
- Pancini, E. y Piccioni, O. (1947), “On the Disintegration of Negative Mesons”, *Physical Review*, 71, pp. 209-210.
- Coughlan, G. D. y Dodd, J. E. (1991), *The Ideas of Particle Physics: An Introduction for Scientists*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Crease, R. P. (1999), *Making Physics: A Biography of Brookhaven National Laboratory 1946-1972*. Chicago, University of Chicago Press.
- Davis, R.; Unwin, S. y Muxlow, T. (1991), “Large-Scale Superluminal Motion in the quasar 3C273”, en: *Nature*, 354, pp. 374-376.
- Dunlop, J. (1997), “Cosmic Fireworks: Illuminating the History of the Universe”, en: *Contemporary Physics*, 38, pp. 409-427.
- Fermi, E.; Teller, E. y Weisskopf, V. (1947), “Decay of Negative Mesotrons in Matter”, en: *Physical Review*, 71, pp. 314-315.
- Foster, B. y Fowler, P. (eds.) (1998), *40 Years of Particle Physics*. Bristol-Philadelphia, Adam Hilger.
- Fraser, G. (ed.) (1998), *The Particle Century*, Bristol. Institute of Physics Publishing.

- Friedlander, M. (2000), *A Thin Cosmic Rain: Particles from Outer Space*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Galison, P. (1997), *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago, University of Chicago Press.
- Gell-Mann, M. (1961), *Caltech Report CTSL-20*, (no publicado).
- (1962), “Symmetries of Barions and Mesons”, en: *Physical Review*, 125, pp. 1067-1084.
- y Ne’eman, Y. (1964), *The Eightfold Way*. New York, Benjamin.
- Hankins, T. (1984), *Science and the Enlightenment*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Hanson, N. R. (1967), “An Anatomy of Discovery”, en: *The Journal of Philosophy*, 64, pp. 321-352.
- (1969), *Perception and Discovery: An Introduction to Scientific Inquiry*. San Francisco, Freeman, Cooper & Co.
- Hoddeson, L.; Brown, L.; Riordan, M. y Dresden, M. (eds.) (1997), *The Rise of the Standard Model: Particle Physics in the 1960s and 1970s*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Kuhn, T. (1962), “The Historical Structure of Discovery”, en: *The Essential Tension*. Chicago, University of Chicago Press, 1977, pp. 165-177.
- Lattes, C.; Occhialini, G. y Powell, C. (1947), “Observation on the Tracks of Slow Mesons in Photographic Emulsions” en: *Nature*, 160, pp. 453-456 y 486-492.
- Lock, W. (1998), “Cosmic Rain”, en: Fraser, G. (ed.), pp. 12-33.
- Marshak, R. y Bethe, H. (1947), “On the Two-Meson Hypothesis”, en: *Physical Review*, 72, pp. 506-509.
- Millar, David, Ian, John y Margaret (1996), *The Cambridge Dictionary of Scientists*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Neddermeyer, S. y Anderson, C. (1937), “Note on the Nature of Cosmic Ray Particles”, en: *Physical Review*, 51, pp. 884-886.
- Ne’eman, Y. (1961), “Derivation of Strong Interaction from a Gauge Invariance”, en: *Nuclear Physics*, 26, pp. 222-229.
- (1989), “The Clasification and Structure of Quarks”, en: Brown, L.; Dresden, M. y Hoddeson, L. (eds.), pp. 630-638.
- (1998), “The Three Quark Picture”, en: Fraser, G. (ed.), pp. 34-45.
- Kirsh, Y. (1996), *The Particle Hunters*. Cambridge, Cambridge University Press, 2<sup>a</sup> ed.
- Nickles, T. (1985), “Beyond Divorce: Current Status of the Discovery Debate”, en: *Philosophy of Science*, 52, pp. 177-206.

- Oppenheimer, J. y Serber, R. (1937), "Note on the Nature of Cosmic Ray Particles", en: *Physical Review*, 51, p. 1113.
- Pais, A. (1988), *Inward Bound: of Matter and Forces in the Physical World*. Oxford, Oxford University Press.
- Perl, M. y otros (1975), "Evidence for Anomalous Lepton Production in  $e^+ e^-$  Annihilation", en: *Physical Review Letters*, 35, pp. 1489-1492.
- (1997), "The Discovery of the Tau Lepton", en: Hoddeson, L.; Brown, L. ; Riordan, M. y Dresden, M. (eds.), pp. 79-100.
- Piccioni, O. (1983), "The Observation of the Leptonic Nature of the 'Mesotron' by Conversi, Pancini, and Piccioni", en: Brown, L. y Hoddeson, L. (eds.), pp. 222-241.
- Porter, R. y M. Ogilvie (eds.) (2000), *The Biographical Dictionary of Scientists*. Third edition. New York, Oxford University Press.
- Robson, I. (1996), *Active Galactic Nuclei*. New York, John Wiley & Sons.
- Rossi, B. y Nerenon, N. (1942), "Experimental Determination of the Disintegration Curve of Mesotrons", en: *Physical Review*, 62, pp. 417-422.
- Sakata, S. e Inoue, T. (1946), "On the Correlations between the Meson and the Yukawa Particle", en: *Progress of Theoretical Physics*, 1, pp. 143-150.
- Salmon, W. (1998), *Causality and Explanation*. New York, Oxford University Press.
- Shapere, D. (2000), "On the Introduction of New Ideas in Science", en: J. Lepplin (ed.). *The Creation of Ideas in Physics: Studies for a Methodology of Theory Construction*. Dordrecht, Kluwer, pp. 189-222.
- Silk, J. (2001), *The Big Bang*. Third edition, New York, Freeman and Company.
- Tomonaga, S. y Araki, G. (1940), "Effect of the Nuclear Coulomb Field on the Capture of Slow Mesons", en: *Physical Review*, 58, pp. 90-91.
- Trigg, R. (1975), *Landmark Experiments in Twentieth Century Physics*. New York, Crane, Russak & Co.
- Yukawa, H. (1935), "On the Interaction of Elementary Particles. I", en: *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*, 17, pp. 48-57.
- (1937), "On a Possible Interpretation of the Penetrating Component of the Cosmic Rays", en: *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*, 19, pp. 712-713.



- 
- (1949), "Meson Theory in its Developments", *Nobel Prize in Physics Award Address*, en: Weaver, J. (ed.). *The World of Physics*. New York, Simon & Schuster, Vol. II, pp. 752-759.

## ABSTRACT

It is a well-known historical fact that the discovery of a new kind of object is not easily accepted or recognized by scientific communities. This is very often the case when the existence of such kind of object had not been predicted by any theory. In this paper I intend to analyze the reasons why this type of discovery is so difficult to recognize. I argue that the discovery of a new, unpredicted kind of object always constitutes an anomaly for the accepted theories about a given domain of phenomena. In order to assimilate the discovery, such theories must be revised and sometimes drastically modified. As a result of this process, the taxonomy of the entities belonging to the domain of a given theory may undergo deep changes. In last resort, what explains the reluctance of scientific communities to recognize the discovery of a new kind of object is the fact that theories may not be easy to modify. I provide examples of those situations taken from the field of contemporary particle physics.