



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS**

DEL NEUTRINO TEÓRICO A LA FÁBRICA DE NEUTRINOS

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

P R E S E N T A

JESSICA DENISE VÁZQUEZ MEDINA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. GISELA TAMHARA MATEOS GONZÁLEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
1. EL EXPERIMENTO: UNA VISIÓN CONTEMPORÁNEA	6
2. EL EXPERIMENTO EN FÍSICA	11
2.1 EL EXPERIMENTO EN FÍSICA	11
2.2 EL EXPERIMENTO EN FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS	21
3. EL NEUTRINO	30
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	41

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los estudios sobre la ciencia han mostrado que ésta es una actividad compleja que debe estudiarse de manera interdisciplinaria, considerando su aspecto histórico, social, filosófico y antropológico. Dentro de la complejidad de ésta, la actividad experimental es fundamental. En el presente trabajo desarrollaré algunas ideas correspondientes a ésta última, en la física de altas energías en la segunda mitad del siglo XX, con la finalidad de abordar el estudio del neutrino.

En primer lugar haré un acercamiento al experimento en el siglo XX desde el trabajo de Ian Hacking [Hacking, 1996]. Para el autor, el experimento debe considerarse en relación con la intervención y manipulación de la naturaleza, ya que “la realidad tiene que ver más con lo que hacemos en el mundo que con lo que pensamos acerca de él” [Hacking, 1996, p. 36]. El experimento no es un medio que permite aceptar o rechazar una teoría; no en todos los casos ésta precede el desarrollo de un experimento. “La experimentación tiene una vida propia” [Ibid, p. 178], es autónoma con respecto a la teoría, ya que el desarrollo de un experimento puede arrojar resultados que generen nuevas teorías o que permitan el desarrollo tecnológico. Más aún, puede darse la combinación de teorías y experimentos de diferentes ámbitos de la ciencia.

Es preciso agregar que para Hacking realizar un experimento no es obtener un conjunto de observaciones sobre el mundo natural. Experimentar no es observar el mundo sino manipularlo. Así mismo, un experimento abarca la producción y estabilización de fenómenos. Éstos no se observan al estudiar el mundo natural, sino que se producen toda vez que se tienen las condiciones necesarias (ensambles específicos de instrumentos) para su producción.

Allan Franklin [Franklin, 1999, 1981] sostiene que comprender el experimento no puede reducirse al estudio de las relaciones entre éste y la teoría, ya que el experimento desempeña varios roles en la actividad científica [Franklin, 1999, p. 35].

Lo anterior me permitirá, en la segunda parte, abordar el trabajo de Peter Galison [Galison 1997, 1995, 1988, 1987] para hablar del experimento en física. Galison expone las posturas positivista y antipositivista para presentar su propuesta, mostrando que en éstas podemos observar un dualismo en la

manera de considerar la historia de la ciencia. Para los primeros, ésta se escribe desde la observación como sustento del cambio teórico. Para los segundos, no es posible pensar una observación carente de teoría, ya que ésta determina el modo en que observamos. Sin embargo, es posible una historia de la ciencia independiente para la teoría, el experimento y los instrumentos, ya que cada uno de estos ámbitos “tiene sus propios rompimientos y discontinuidades” [Galison, 1995, p. 40]. Cada uno de estos ámbitos tiene “su propio tiempo y dinámica de cambio” [Galison, 1997, p. 14], sin necesidad de que coincidan entre sí.

Para poder articular un discurso histórico sobre la independencia del experimento con respecto a la teoría, Galison [Galison 1997] recurre a la noción de “cultura material”, es decir, al estudio de los objetos mismos, de sus usos y significados. Así mismo, se preocupa por estudiar el “laboratorio” como el escenario en el que se desarrolla el trabajo experimental [Galison, 1987]. En relación con esto, es central la idea de “práctica experimental” como aquellas actividades que se construyen desde los elementos disponibles en determinada tradición [Martínez, 2003].

Galison sostiene que al interior de la disciplina de la física es posible hablar de “subculturas” o ámbitos diferentes e independientes, sin que se presenten rupturas ni problemas de comunicación. Dichas subculturas no están aisladas, sino que se encuentran en constante intercambio. Éste es posible debido al establecimiento de una “zona de intercambio” o un espacio común, en el que sin llegar a un acuerdo general se puede crear un significado local, temporal y contextual de los términos, que las diferentes subculturas reconocen como intermedio entre ellas, que facilita la comunicación y que, al mismo tiempo, mantiene su autonomía [Galison, 1997].

En la experimentación dentro de la disciplina de la física, los detectores desempeñan un papel central, por lo que revisaremos la noción de detector para hacer uso de la misma en la última parte del trabajo [Galison, 1997, Knorr-Cetina, 1999, Hacking, 1996]. En su análisis de los detectores, Galison sostiene que podemos hablar de los que “producen imágenes” y de los que “producen cálculos”. Los primeros se asocian a la obtención de una imagen que confirme la existencia de determinado fenómeno; los segundos, a las

fichas y circuitos electrónicos, así como a la interpretación estadística de los datos [Galison, 1997].

Para abordar el problema del neutrino, que es objeto de estudio dentro de la física de altas energías, es preciso revisar primero dicha disciplina. Karin Knorr-Cetina [Knorr-Cetina, 1999] afirma que en ésta el orden natural se reconfigura desde un orden de signos. Lo anterior, como veremos, debido a que en el laboratorio no se trabaja con los objetos como son en la naturaleza, sino que pueden sustituirse, transformarse, etc.. Para fortalecer esta idea revisaré la noción de “móvil inmutable” de Bruno Latour [Latour, 1990]. Éste propone estudiar las prácticas de laboratorio desde las inscripciones, es decir, signos, diagramas, imágenes, etc. Éstas no explican por sí mismas la actividad experimental, pero sí fortalecen cualquier explicación. La importancia de su estudio reside en que al ser planas, de dos dimensiones y después de todo un proceso, pueden cambiarse de tamaño y combinarse haciendo posible su movilización sin que se modifique lo que se moviliza. Lo anterior permite su reproducción y propagación a bajos costos. Las inscripciones, con tales características, se utilizan para manipular los objetos de la realidad; “el espacio en el papel puede hacerse continuo con el espacio tridimensional” [Latour, 1990, p. 46].

Los objetos con los que se trabaja en la física de altas energías son de dimensiones tan pequeñas que sólo pueden ser vistos con detectores. La observación del objeto, pues, es indirecta ya que lo que se ve es la huella que deja en las partes que integran el detector; lo anterior hace indispensable un conocimiento exhaustivo del mismo. Aún el significado que se asigna a las mediciones está en estrecha relación con la configuración del detector. “El principal problema, entonces, es el detector” [Knorr-Cetina, 1999, p. 53].

Por último, el trabajo de Knorr-Cetina nos permitirá ver el aspecto social de dichos experimentos. La autora señala que en éstos se da una gran variedad de participantes y que, a pesar de esto, se logran formas exitosas de cooperación. Los experimentos de la física de altas energías son de grandes dimensiones, debido al tamaño y número de participantes. Los detectores superan las dimensiones humanas. Al mismo tiempo, se da una colaboración de varios científicos de diferentes disciplinas e institutos, a lo largo del mundo.

Lo anterior lleva a la constitución de grupos de trabajo en los que se privilegia el científico no como individuo sino como parte de éste.

Dentro de la escasa bibliografía que existe sobre la historia del neutrino, utilizaré para la tercera parte los trabajos de Allan Franklin [Franklin, 2004], Harry Collins y Trevor Pinch [Collins y Pinch, 1996], así como el de Gisela Mateos y Jaume Navarro [Mateos y Navarro, 2006]. Los trabajos de Franklin y Mateos y Navarro, me permitirán el acceso a una visión histórica del neutrino desde la suposición de su existencia, hasta la confirmación de la misma. Aunado a esto se revisarán los cambios en el modo de considerar a la partícula.

Por último, el trabajo de Collins y Pinch sobre el problema de los neutrinos solares, me permitirá argumentar a favor de lo expuesto con Galison y Knorr-Cetina. En el caso de Galison, veremos con el experimento de los neutrinos solares la combinación de las dos tradiciones –imagen y lógica- en la física; en el caso de Knorr-Cetina, veremos la reconfiguración del orden natural desde un orden de signos y la exitosa cooperación de diferentes investigadores, disciplinas e institutos para el logro del mismo.

1. EL EXPERIMENTO: UNA VISIÓN CONTEMPORÁNEA

*“... cualquier visión unilateral del experimento
está seguramente equivocada.”*
Hacking

El experimento es un elemento constitutivo de la actividad científica; éste ha sido considerado de diferentes maneras a lo largo de la historia. Así, la primera parte del presente trabajo tiene como finalidad una revisión del mismo en el siglo XX, haciendo referencia al trabajo de Ian Hacking y Allan Franklin.

Ian Hacking [Hacking, 1996] sostiene que con la llamada revolución científica del siglo XVII el experimento empezó a considerarse como un medio privilegiado para la obtención de conocimiento científico. Conocer la naturaleza tenía que ver con la posibilidad de manipularla, de experimentar. En relación con lo anterior se pregunta acerca de las relaciones entre teoría y experimento. ¿Es preciso que la realización de un experimento sea precedida por una teoría? Lo anterior puede considerarse de dos modos. Por una parte puede afirmarse que son necesarias algunas ideas acerca de la naturaleza así como de los aparatos con los que se llevará a cabo un experimento. Hacking acepta esta visión, pues afirma que la realización de éste “desprovista de propósito, sin la habilidad de entender e interpretar el resultado, no nos enseña nada” [Hacking, 1996, p. 181]. Por otra parte, se afirma que el experimento desempeña la función de poner a prueba las teorías. Sin embargo, nos dice el autor, ésto es falso, pues un experimento puede realizarse “por mera curiosidad. Naturalmente, muchos de nuestros experimentos están hechos con conjeturas más específicas en mente” [Ibíd., p.182].

Así, es posible que un experimento se realice completamente a la luz de una teoría o que a la realización de éste no le preceda alguna teoría. Aún más, podemos pensar que se obtengan datos experimentales independientes que den lugar a una teoría que posteriormente los relacione.

También puede afirmarse que una teoría sea rechazada al no poder derivar de ella ningún experimento, así como que éste fracase debido a que no se encuentra relacionado con ninguna teoría.

Otra posibilidad es que el experimento se desarrolle con fines de perfeccionamiento tecnológico. Finalmente, podría pensarse en una

complementación entre teorías y experimentos de diferentes ámbitos de la ciencia.

Así, la realización de un experimento no está orientada únicamente a poner a prueba una teoría, sino que tiene que ver con crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos.¹ Éstos no se descubren en la naturaleza, sino que se producen artificialmente, se revelan en el desarrollo de un experimento. Al hablar de construcción de fenómenos se enfatiza la idea de que éstos existen una vez que se tienen los aparatos y condiciones necesarias para su producción en un laboratorio².

Si los fenómenos son producidos artificialmente, entonces, necesariamente, son reproducibles. Lo anterior lleva a la pregunta de si puede afirmarse que es el mismo experimento el que se repite o si es diferente, si es más valioso el original o sus repeticiones. En relación con esto podría decirse que repetir un experimento implica cierta diferencia entre el experimento inicial y sus repeticiones, pues lo que se tiene son intentos de “hacer mejor la misma cosa - producir una versión más estable, con menos ruido, del mismo fenómeno” [Ibíd., p. 260].

Dentro de este acercamiento al experimento, también se plantean preguntas en relación con aquello a lo que se considera como observación. Con respecto a ésto nos dice Hacking que podrían identificarse dos modos de pensar la observación. Ésta puede pensarse como mirar objetos sensibles o como mirar a través de instrumentos. En el primer caso podemos encontrar la postura positivista que reduce lo real a los objetos sensibles³. En el segundo caso

¹ La palabra fenómeno se asocia generalmente al ámbito de la apariencia, de los sentidos y por tanto se considera como algo cambiante. Al mismo tiempo, cuando se habla de fenómeno puede pensarse en un suceso singular. Contrario a ésto, Hacking sostiene que fenómeno es algo público, regular, que también puede tener el carácter de excepcional [Hacking, 1996, p. 251]. El concepto de fenómeno que utilizaré es el de Hacking.

² En relación con esto Jan Golinski [Golinski, 1998], afirma que los instrumentos son herramientas tanto materiales como conceptuales que usan los investigadores para revelar, probar, aislar, medir, representar o analizar los objetos de investigación. Considerando esto puede afirmarse que los **fenómenos experimentales se producen y reproducen** desde ensambles específicos de instrumentos.

³ Lo anterior se refiere al rechazo del positivismo lógico a la metafísica y a las entidades teóricas. Rudolf Carnap sostiene que cada concepto debe ser susceptible de reducción a proposiciones protocolares, es decir, proposiciones de experiencia de sentido inmediato. Considerando lo anterior, la afirmación sobre la existencia de una entidad como las partículas elementales no sería posible en sentido positivista, dado que no se tiene una observación directa o una experiencia de sentido inmediato de la misma. De aquí la distinción entre observación de objetos sensibles y observación con instrumentos. En esta última, la afirmación sobre la existencia de una partícula es producto de inferencias a partir de información obtenida con los instrumentos que intervienen en un experimento.

podríamos encontrar la ciencia del siglo XX, que raras veces “ve” sin ayuda de instrumentos⁴.

Los positivistas, al reducir lo real a los objetos sensibles, buscaban fundamentar el conocimiento en la realidad y escapar de las trampas de la metafísica; establecieron una distinción entre observable y no observable. Sin embargo, nos dice Hacking, esta distinción no puede pensarse como criterio para distinguir lo real de lo no real, ya que no es posible afirmar que se observa, en sentido positivista, cuando se usan instrumentos en los que los sentidos humanos desempeñan un papel mínimo.

En relación con lo anterior hay que agregar que observar, mirar con instrumentos, consiste en hacer algo con ellos más que simplemente mirar. Por ejemplo, mirar con un microscopio implica “preparar” en un portaobjetos aquello que ha de mirarse. Sería preciso decir, además, que no se “ve a través” del microscopio, sino que se “ve con” el microscopio. Esta distinción entre “ver a través” y “ver con” se hace para enfatizar que ver con instrumentos es un modo de ver, aunque no en el sentido positivista.

Contrario a la postura positivista, Norwood R. Hanson sostenía que cada término y enunciado observacional estaba cargado teóricamente, esto es que nuestra observación está determinada por las expectativas teóricas con las que observamos⁵. Sin embargo, Hacking rechaza esta postura afirmando que cuando se observa se tienen expectativas, prejuicios, opiniones, hipótesis de trabajo, etc., lo que no significa que toda observación esté cargada teóricamente, sobre todo cuando es posible encontrar casos en los que un fenómeno resulta de interés debido a la ausencia de una teoría que permita explicarlo.

Realizar un experimento, pues, es más que coleccionar observaciones que pongan a prueba teorías científicas. Incluso hay ocasiones en que la práctica experimental puede estar más relacionada con la construcción de un instrumento que con la observación. El sentido en el que puede hablarse de

⁴ Ya desde el siglo XVII, cuando empiezan a utilizarse las herramientas de cálculo y medición usadas en las matemáticas para el ejercicio de la filosofía natural, comienzan a considerarse los instrumentos como valiosos para la adquisición de conocimiento, ya que éstos extendían el alcance de los sentidos, creaban nuevas condiciones físicas, etc. [Golinski, 1998, p. 134-5].

⁵ En el primer capítulo de su libro *Patterns of Discovery*, Hanson [Hanson, 1989] sostiene que la observación de un objeto tiene una “carga teórica”, es decir, está condicionada por el conocimiento previo que tengamos del mismo.

observación en la realización de un experimento tiene que ver, más que con registrar datos para probar teorías, con identificar si el experimento se está desarrollando adecuadamente. La labor del experimentador no se reduce a la observación. En otras palabras, experimentar no es contemplar el mundo para describirlo o dar un informe acerca de él, sino manipularlo.

Allan Franklin [Franklin, 1999, 1981] plantea que el experimento desempeña varias funciones dentro de la actividad científica y no sólo la de poner a prueba las teorías. El experimento puede considerarse al menos de dos modos: podría distinguirse entre los que son “técnicamente buenos” y los que son “conceptualmente importantes”. Entre los primeros tenemos aquellos que permiten mejorar un instrumento existente o la creación de uno nuevo. Entre los segundos encontramos aquellos que tiene relación con y relevancia para la teoría existente.⁶

Así, nos dice en su artículo “The Roles of Experiment” [Franklin, 1999] que la posibilidad de que un experimento desempeñe varios roles se debe, en parte, a que éste no siempre tiene resultados claros.

El diseño de un experimento puede estar enfocado en confirmar una predicción teórica, es decir, mostrar la existencia de un fenómeno que no ha sido observado previamente o exhibir nuevos fenómenos que no han sido esperados por las teorías existentes y por lo tanto permiten la formulación de nuevas teorías, etc. También es posible que se tenga una evidencia experimental contradictoria, siendo el caso que la confiabilidad de un experimento depende no sólo de sus resultados, sino de su relación con los resultados de otro experimento. Sin embargo, cómo es que puede afirmarse que son confiables los resultados de éstos. Los resultados del trabajo experimental pueden, nos dice Franklin, validarse por medio de diferentes estrategias.

En primer lugar, el experimentalista debe comprobar que un instrumento es adecuado para la obtención de determinados resultados [Franklin, 1999], que

⁶ Margaret Morrison [Morrison,1986] sostiene que previo a la afirmación de que se han obtenido resultados experimentales relevantes o conceptualmente importantes es preciso asegurarse de que se obtuvieron a través de experimentos técnicamente buenos. La posibilidad de realizar un experimento depende de la posibilidad de medir con precisión determinada magnitud fenómeno, etc. Porque éste es técnicamente bueno es que puede considerarse conceptualmente importante.

éste tiene la capacidad de medir las cantidades de interés con precisión suficiente [Franklin, 1981].

Otra estrategia que permitiría validarlo es que pueden observarse los mismos⁷ resultados en dos instrumentos experimentales diferentes, ya que se considera altamente improbable que dos instrumentos diferentes puedan producir el mismo resultado experimental erróneo.

Franklin sostiene que los resultados de un experimento son confiables si es posible intervenir el experimento, es decir, si es posible observar las manipulaciones que se hacen durante éste⁸, de modo que pueda afirmarse que tanto el instrumento como el resultado del experimento son confiables.

Lo central del planteamiento de Hacking y Franklin, para el presente trabajo, es que nos llevan a “pensar en la práctica no en la teoría” [Hacking, 1996, p. 303], pues consideran el experimento desde el ámbito de la manipulación, contribuyendo así a entenderlo como algo autónomo, dinámico e independiente de la teoría.

⁷ Las mediciones con instrumentos tienen incertidumbre. En algunas ocasiones, cuando se afirma que se tiene “el mismo resultado” en un experimento se hace considerando no que tengan exactamente la misma cantidad, sino que se den dentro de un rango determinado.

⁸ Esto no es aplicable en el campo de la astronomía. En ésta, las estrategias de validación de un resultado experimental tiene que ver con garantizar el buen funcionamiento del instrumento y con las mediciones.

2. EL EXPERIMENTO EN FÍSICA

*“Sólo ahí, en el laboratorio mismo,
puede verse cómo el minero
separa el oro de la pirita”*
Galison

2.1 El experimento en física

Una de las propuestas sobre el experimento en física es la de Peter Galison [Galison, 1988, 1987], quien sostiene que aunque se afirma que la ciencia avanza a través del experimento, la historia de ésta se escribe desde la teoría, considerando la evolución de los conceptos y no la práctica del laboratorio. Lo anterior lo lleva a plantearse la posibilidad de considerar de modo independiente la historia de la teoría, del instrumento y del experimento. Dicha propuesta es presentada en tres momentos históricos desde lo que él llama la “metáfora central”.

El positivismo lógico. Esta postura afirmaba que el fundamento del conocimiento científico residía en la *observación*, en tanto que ésta permanecía a pesar del constante cambio teórico. Las “teorías van y vienen, las observaciones están ahí para quedarse” [Galison, 1988, p. 197].

En su obra *La estructura lógica del mundo* Rudolf Carnap sostenía que cada concepto podía ser reducido o traducido a un conjunto de proposiciones de experiencia de sentido inmediato. Otto Neurath, a diferencia de Carnap, consideraba que el lenguaje no podía fundamentarse en la percepción individual, sino que era preciso un lenguaje universal, un lenguaje protocolario fisicalista⁹. Tanto Carnap como Neurath tenían como centro de su reflexión el lenguaje, el cual afirmaban que podía fundarse en la experiencia individual o colectiva. De cualquier modo, la experiencia se privilegiaba frente a la teoría. Así mismo, era la experiencia la que permitiría evaluar las proposiciones científicas: éstas, para poder considerarse como tales, es decir, con sentido, debían poder traducirse en enunciados de experiencia de sentido inmediato.

Al mismo tiempo, el lenguaje protocolar les permitió a los positivistas formular la imagen de la unidad de la ciencia. Este lenguaje sería el fundamento que permitiría reunir las diferentes ciencias bajo la llamada “ciencia unificada”. Lo anterior no podía sino ir acompañado por la firme creencia en el progreso tanto de la ciencia como de la filosofía; las observaciones son continuas y

⁹ Cómo considera Otto Neurath las proposiciones protocolares, así como sus objeciones a Carnap en este tema, pueden revisarse en el artículo “Proposiciones Protocolares” en *Conocimiento y Verdad*.

acumulativas, es decir, tienen un movimiento progresivo, lo que las aleja de la ruptura y discontinuidad de los cambios teóricos.

Los positivistas lógicos vieron en la historia la evidencia de que el conocimiento se funda en la observación; la historia como fuente de ejemplos. Desde esta posición la historia de la ciencia se escribe como una conexión de observaciones sucesivas, como una secuencia progresiva y acumulativa de observaciones, dando poca importancia al papel de la teoría. La historia de la ciencia escrita así se nos presenta como el inevitable camino hacia los múltiples y diferentes descubrimientos de la ciencia, todo lo cual llevará a una descripción mejor y más detallada del mundo.

Considerando lo anterior, la metáfora central de los positivistas es la continuidad observacional y experimental a lo largo del tiempo, sustentando la discontinuidad teórica¹⁰.

El anti-positivismo. Contrario al positivismo, buscó invertir el orden de prioridad de la experiencia sobre la teoría. El fundamento de la ciencia no estaba ya en la observación sino en la teoría; tanto las observaciones como el trabajo de laboratorio se consideraban condicionados por ésta. Ahora el énfasis se ponía en la teoría, pues se argumentaba que no era posible una observación separada, carente de ésta¹¹.

En este caso el discurso histórico ejerció la misma función que en la filosofía positivista. La historia le proporcionaba al anti-positivismo los ejemplos para poder afirmar que se daban los cambios teóricos y que estos afectaban la percepción, es decir, las observaciones así como su interpretación y organización. El discurso histórico anti-positivista se construyó como un recuento de rupturas teóricas. Sin embargo, debe señalarse que para éstos el discurso histórico era considerado como un elemento importante para la comprensión de la actividad científica.

Lo anterior permitió afirmar que se daban rupturas epistémicas debido a los cambios teóricos. Así, Thomas S. Kuhn sostenía que cuando las teorías

¹⁰ “La periodización positivista. La observación... forma un fundamento acumulativo y esencialmente sin rupturas” [Galison, 1988, p. 202]. Considerando lo anterior, la teoría se construye sobre ésta.

¹¹ Así, en el texto de Hanson [Hanson, 1989] antes citado, el autor formula un ejemplo que busca mostrar lo determinante que es la teoría en la observación. Al observar un mismo objeto del laboratorio de física, un físico no observa lo mismo que una persona ajena a este contexto, lo anterior debido a que el modo en que cada uno mira el objeto está en estrecha relación con el conocimiento que se tiene del mismo.

cambiaban, cambiaba también el mundo; un cambio teórico llevaba a un cambio en la percepción¹².

La metáfora central de los anti-positivistas es que el cambio científico está sustentado por la teoría; cuando se da un cambio teórico, este se acompaña por un cambio observacional¹³.

Siguiendo a Galison, en estos movimientos filosóficos está presente el argumento por la unidad de la ciencia. Ambos sostienen que la actividad científica debe ser entendida principalmente como la eliminación de las dificultades del lenguaje y la referencia. Aunque los primeros fundan la unidad de la ciencia en la observación, mientras los segundos la fundan en la teoría, la imagen de la posibilidad de una ciencia unitaria está presente en ambos, al buscar un procedimiento universal de progreso científico.

El modelo crítico posmoderno. Galison sostiene que sería preciso revisar cómo ha sido considerado el trabajo experimental en el recuento histórico anti-positivista. Así, afirma que se atiende sólo a sus resultados con el fin de confirmar, refutar o generar una teoría. Se construye un recuento histórico de los resultados de los experimentos en relación con ésta. De aquí que en la historia y filosofía de la ciencia de la segunda mitad del siglo XX se dé más importancia a la teoría que al experimento, pese a que afirman que el movimiento de ésta se debe a la experimentación.

Es necesario reconocer que así como puede construirse una historia de las ideas, sería posible construir una historia de los experimentos y de los instrumentos, evitando partir del dualismo planteado por las tradiciones anteriores, es decir, evitando dar primacía a la observación o a la teoría y planteando la posibilidad de articular una postura mediática en la cual se limiten mutuamente la actividad teórica, experimental e instrumental.

Lo anterior sería posible si se reconoce que la historia del experimento es diferente de la teoría y de los instrumentos. La historia de éstos es autónoma

¹² Para argumentar a favor de lo anterior, Kuhn recurrió a los experimentos de cambio gestáltico según los cuales se da un cambio en la percepción visual debido a que los datos se organizan de manera diferente. Ésto le permite hacer una analogía con lo que ocurre en una revolución científica: “... aunque el mundo no cambie con un cambio de paradigma, tras él el científico trabaja en un mundo distinto [...] Aunque se enfrenta a la misma constelación de objetos que antes, y sabe que es así, con todo los encuentra transformados completamente en muchos de sus detalles” [Kuhn, 2004, p. 209-210].

¹³ “Periodización antipositivista. Contrario a la jerarquía positivista, los antipositivistas ubican la teoría como el “fundamento” desplazando la observación a un lugar secundario. Cuando en la teoría se presenta una discontinuidad, lo mismo ocurre en la observación” [Galison, 1988, p. 206].

con respecto a la del experimento, pues aquellos que construyen instrumentos tienen toda una organización que se articula y funciona con independencia¹⁴ respecto de los experimentalistas.

Considerando lo anterior, Galison nos dice que la metáfora central de este modelo sería la posibilidad de una autonomía parcial de la historia de la teoría, la historia del experimento y la historia de los instrumentos. Al considerar dichas categorías –teorías, experimentos, instrumentos– como cuasi-independientes se asume que si la continuidad y ruptura están presentes, éstas se dan sin afectar o coincidir necesariamente entre sí¹⁵.

Dentro de este planteamiento el autor hace un acercamiento a la física en la segunda mitad del siglo XX. Hacia 1964, nos dice Galison [Galison, 1997], la cuestión que dominaba la física experimental giraba en torno a lo que debía entenderse como “experimento”. La Segunda Guerra Mundial había modificado el modo en el que se pensaban y realizaban los experimentos. Éstos no consistían ya en el diseño, construcción y ejecución de un instrumento por parte de un científico, sino que la ciencia experimental requería la conformación de grandes equipos integrados por programadores computacionales, experimentalistas, instrumentistas, ingenieros, etc. En el caso de estos experimentos a gran escala las preguntas que podían plantearse eran “¿quién es considerado como experimentador? ¿El diseño de software es experimentación? [...] ¿Es suficiente una observación para afirmar que un evento existe? [...] ¿Las demostraciones estadísticas pueden contar como “prueba” de un nuevo efecto?” [Galison, 1997, p. 7]. Lo anterior representaba problemas para los físicos experimentales en relación con el modo en que pensaban su profesión: “¿Qué contaría como una demostración en física?... ¿Qué rol jugaría la argumentación estadística? ¿Una simulación por computadora debería ser sustituto de un experimento?” [Ibid., p. 1-2].

¹⁴ “Los que construyen instrumentos tienen sus propias revistas, sus propias publicaciones, su propio intercambio de partes de maquinaria, diseños y, en tiempos más recientes, programas de computación” [Galison, 1988, p. 209].

¹⁵ “Periodización posmoderna crítica: Aquí tenemos periodizaciones; no hay una tendencia fija en la cual los patrones de continuidad y discontinuidad estén alineados y no hay una jerarquía reductiva. La observación como categoría está descartada y la experimentación, la teoría y los instrumentos son niveles de autonomía parcial. Los rompimientos pueden ocurrir en cualquier nivel y los niveles están intercalados, así que es totalmente posible que la continuidad en un nivel persista mientras se de un rompimiento en otro” [Galison, 1988, p. 209].

En el intento por comprender la actividad experimental, distingue entre “laboratorio exterior” (outer laboratory) y “laboratorio interior” (inner laboratory). Por lo primero hemos de entender el macroambiente que encierra al físico experimental, el cual no determina la vida del laboratorio, pues lo que rodea su trabajo puede diferir del amplio contexto institucional. Por lo segundo hemos de entender el microambiente del físico experimental. Esto último, en tanto que es lo que de modo inmediato rodea su trabajo, es central en el estudio de la cultura material¹⁶ de éste, así como de las prácticas experimentales. “Esto puede incluir las herramientas en el banco, los métodos de cálculo, así como el rol de los técnicos, ingenieros, colegas y estudiantes” [Ibíd. p. 4].

Galison, pues, parte de la cultura material, de los instrumentos, ya que si “se consideran los instrumentos se tiene un modo de historia diferente... es la historia reflejada a través de los objetos específicos materiales la que genera y sostiene el significado de “experimento” a través del tiempo” [Ibíd., p. 5].

La idea de cultura material le permite caracterizar un ámbito dentro de la física que conserva cierta independencia respecto de los demás ámbitos de la misma: los instrumentos, objetos materiales específicos de la actividad experimental.

Así mismo, se preocupa por el trabajo del laboratorio, pues éste es el lugar “donde los experimentalistas reúnen argumentos, reordenan equipo, evalúan aparatos y modifican habilidades interpretativas” [Galison, 1987, p. 8]. Lo que se estudia, pues, son las prácticas. Siguiendo a Sergio Martínez [Martínez, 2003], éstas no han de pensarse como un puente entre la teoría y la experiencia, sino que se construyen desde los recursos disponibles en una tradición, se constituyen al establecerse conexiones entre cierto tipo de actividades y creencias [Ibíd., p. 20-1].

Dentro de esta caracterización de la física, Galison utiliza el término subcultura para enfatizar que pese a la unidad que ésta tiene como disciplina, al interior de la misma puede hablarse de dominios diferentes e independientes. Al mismo tiempo, el usar subcultura en lugar de cultura le permite evitar caer en una

¹⁶ Galison [Galison, 1997] toma el término “cultura material” de los antropólogos y arqueólogos. Dicho término refiere al estudio de los objetos tomados en sí mismos, así como a sus usos y significado simbólico.

división de la física como disciplina, que llevaría al problema de cómo sería posible la comunicación entre diferentes culturas.

La intención de este planteamiento tiene dos fines, el primero es dar un lugar histórico y filosófico a dichas subculturas autónomas –teoría, experimento, instrumento- desde la cultura material, que con frecuencia se mueve sin la guía de una agenda teórica particular; el segundo tiene como intención preguntarse cómo dichas subculturas interactúan.

A favor de la autonomía de la vida experimental con respecto a la teoría y los instrumentos, Galison expone brevemente la diferenciación entre físicos teóricos y experimentales en el siglo XX. Así, nos dice que las dos primeras décadas de dicho siglo la física era básicamente experimental¹⁷. El periodo entre guerras vio el surgimiento de una subdisciplina, a saber, la física teórica. No es sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial que puede decirse que los físicos teóricos son tan numerosos como los experimentales. A pesar de ésto la historia de la física moderna se escribe principalmente desde la teoría.

Es necesaria una precisión. El que se hable del desarrollo de dos subculturas en la física moderna, experimentalistas y teóricos, no significa que éstas no puedan comunicarse, compartir instituciones, presupuestos y puntos de vista. Galison sostiene que los experimentalistas se basan en el conocimiento teórico y experimental previo, para la construcción de sus argumentos, así como para hacerlos persuasivos, del mismo modo que los teóricos hacen uso de la evidencia que puedan proporcionar los experimentos.

Lo anterior significa que hay dos ámbitos, cada uno con su propio dominio y dinámica, cada uno con su propia historia. Significa que hay, nos dice Galison, “una historia que contar acerca de la vida experimental que capture los intereses del laboratorio que tienen poco que ver con la teoría” [Ibid, p. 12].

Se afirma que las diferentes subculturas se relacionan desde tres diferentes restricciones. En primer lugar las *restricciones internas*, que corresponderían al ámbito propio de la física. En segundo lugar, *restricciones externas*, que

¹⁷ En 1905 Albert Einstein publicó cuatro artículos en la principal revista alemana de física, *Annalen der Physik*. Sin embargo, dichos artículos no fueron considerados importantes por la mayoría de los físicos y algunos los rechazaron. Incluso algunos de estos fueron cuestionados por varios años. De aquí que Galison afirme que las primeras décadas del siglo XX la física era básicamente experimental y que la diferenciación entre físicos teóricos y experimentales se da en el periodo entre guerras.

responderían a razones socioeconómicas. En último lugar, *determinismo tecnológico*, que respondería a cuestiones relacionadas con la ingeniería. Sin embargo, Galison sostiene que el hablar de estas restricciones no caracteriza el trabajo diario del físico en el laboratorio. Éste se enfrenta a una multiplicidad de restricciones, que no son siempre las mismas para las diferentes subculturas y éstas, pese a todo, se comunican.

Con respecto a las restricciones serían necesarias dos precisiones. En primer lugar, las que operan dentro de las subculturas teóricas y experimentales son cuasi autónomas, no absolutamente separadas; aunque cada una tiene su propia dinámica es posible y se da la comunicación entre subculturas. Es imposible formular muchas de las preguntas experimentales sin relación con la teoría. Al mismo tiempo, la teoría depende profundamente de aspectos de conocimiento experimental. En segundo lugar, las restricciones teóricas y experimentales juegan un rol constructivo, así como un rol restrictivo; marcan límites al mismo tiempo que dan forma, estructura y dirección a los problemas de investigación.

La necesidad de considerar las restricciones como algo importante se debe a que son usadas por los físicos para la construcción de teorías, instrumentos y experimentos. Además, éstas pueden alcanzar tal importancia que se constituyen como parte de la reglamentación de la construcción de una teoría, experimento o instrumento. Algunos de los argumentos y procedimientos utilizados por los experimentalistas en el diseño de los experimentos pueden encontrarse en sus publicaciones. Sin embargo, muchas condiciones y procesos experimentales que llevaron al planteamiento del experimento no se encuentran en éstas, por lo que se recurre a los documentos no publicados como una fuente para conocer aquellas condiciones y procesos no explícitos en las publicaciones.

Si la física se considera como constituida por subculturas se corre el riesgo de dejar de lado su unidad como disciplina. En relación con esto y para evitar cualquiera de los problemas mencionados Galison propone la noción de “zona de intercambio” (trading zone), es decir, “un dominio intermedio en el cual los procedimientos pudieran ser coordinados localmente” [Galison, 1997, p. 46], una zona intermedia en la cual pueda darse un proceso de intercambio entre las diferentes subculturas, en donde éstas puedan encontrar un fundamento

común que haga posible la comunicación. La posibilidad de establecer, mantener y cuestionar una coordinación local, sería para Galison el núcleo de cómo el conocimiento puede ser ampliamente aceptado.

Las diferentes subculturas pueden encontrar un fundamento común para llevar a cabo intercambios; éstos son posibles debido a que, a pesar de las diferencias, se logra un acuerdo que permite el tránsito de objetos. De modo similar se da un intercambio entre las subculturas teórica, experimental e instrumental, que permite solucionar cuestiones locales, sin necesidad de llegar a un acuerdo general.

En relación con la comunicación entre diferentes subculturas se ha hablado de dos posibilidades. Por un lado se afirma que es posible dado que el significado se da proposición por proposición. En este caso el significado global de un lenguaje sería la suma del significado de cada proposición particular. Por otro lado, desde una concepción holista, se afirma que el significado de cada proposición se da desde la totalidad del lenguaje. Sin embargo, sería posible hablar de un tercer caso. Se tiene la posibilidad y habilidad de restringir y alternar significados de modo que se cree un sentido local de los términos que los miembros de las dos subculturas reconozcan como intermedio entre ambas. El resultado es un lenguaje que no es ni completamente dependiente, ni completamente independiente del significado global.

El establecimiento de este lenguaje intermedio, de esta zona de intercambio, facilita la comunicación entre subculturas que de otro modo serían completamente incompatibles, al mismo tiempo que se conserva su distintividad y autonomía.

Dicho lenguaje intermedio tendría, nos dice Galison, tres características. Es un lenguaje *local*, es decir, no es global sino de uso específico entre aquellas subculturas que lo establecieron. También es un lenguaje *diacrónico*, lo que significa que es temporal, que puede variar; esto da cuenta de cómo a pesar de los cambios se da la relación entre subculturas. Finalmente, es un lenguaje *contextual*, en otras palabras, depende de ciertas condiciones de establecimiento, expansión, diferenciación, etc.

Esta noción de zona de intercambio, como la posibilidad de establecer un lenguaje intermedio que posibilite la comunicación entre diferentes subculturas, permite evitar la fragmentación u homogeneización al interior de la física, ya

que posibilita la comunicación entre las diferentes subculturas –teoría, experimentos e instrumentos- manteniendo su autonomía y sin pretender un acuerdo general. Pero el objetivo de Galison no es el lenguaje, sino la cultura material. El interés no está en el lenguaje, sino en los objetos y su uso, así como el estudio del establecimiento de nuevos patrones para el uso de los mismos. “No quiero explorar el lenguaje que usamos para hablar de las máquinas, sino que quiero expandir la noción de lenguaje para incluir la disposición de los objetos del laboratorio” [Ibíd., p. 51].

La intención de Galison, pues, es hablar del movimiento de ideas, objetos y prácticas como una coordinación local a través del establecimiento de un lenguaje común entre subculturas; “... el argumento es la conexión de la física lograda a través de movimientos parciales de coordinación entre teoría, experimento, instrumento y tecnología...” [Ibíd., p. 55]. Lo central es ver cómo dada la extraordinaria diversidad de participantes –objetos y personas- en la física, éstos se comunican.

Así, dentro de este ámbito el autor se preocupa por estudiar los “detectores”¹⁸. Éstos son instrumentos que permiten la relación entre el mundo microscópico de la física y el mundo de nuestros sentidos, al mismo tiempo que se produce evidencia sobre las características de los fenómenos. Los detectores podrían ser al menos de dos clases: los que “producen imágenes” y los que “producen cálculos”. Con éstos Galison da nombre a las dos tradiciones con las que caracteriza la física: la de la imagen y la de la lógica. La primera busca la producción de imágenes que puedan servir como evidencia de la existencia de una entidad o efecto. De éstas se supone que se tiene una representación mimética, es decir, que proporcionan una posibilidad de preservar la forma de las cosas como ocurren realmente en el mundo; con las imágenes se supone tener una recreación de la parte invisible de la naturaleza.

¹⁸Un “detector” es un instrumento visual que provee representaciones o signos, desde los cuales los físicos articulan cierto conocimiento experimental. Éstos son dispositivos que registran trazos de partículas, los cuales serán reconstruidos e interpretados de acuerdo a ocurrencias de partículas en tiempo y propiedades reales. Es preciso agregar que los detectores están constituidos a su vez por muchos subdetectores, los cuales usan diferentes tecnologías [Knorr Cetina, 1999]. Así mismo, pueden considerarse como medidores entre la producción de fenómenos y la producción de evidencia [Galison, 1997]. Los detectores son dispositivos que permiten “ver”. El sentido en el que se habla de “ver” es como una extensión del sentido de la vista. Así, Dudley Shapere nos dice que “los físicos regularmente hablan de observar, e incluso de ver, cuando utilizan aparatos en los que ni el ojo ni ningún otro órgano sensorial desempeñan un papel esencial” [Hacking, 1996, p. 199].

En oposición a la tradición de la imagen está la tradición de la lógica. Ésta sostiene que con el uso de fichas electrónicas y circuitos lógicos electrónicos, se obtiene un conjunto de datos que permiten hacer argumentos estadísticos de la existencia de una entidad o efecto. En esta tradición se supone que hay una representación en la que el registro estadístico preserva la relación lógica de los eventos, esto es, una representación homóloga.

La representación mimética argumenta contra la idea de que nada puede ser visto desde los meros datos, pero es criticada de localizar casos únicos, singulares. En el caso de la representación homóloga se sacrifica el detalle de uno por la estabilidad de muchos. Sin embargo, en la mayoría de los casos ambos tipos de representación llevan a la misma información -como cuando se habla de una nueva partícula-.

Ambas tradiciones no se desarrollan independiente y autónomamente, sino que están en constante intercambio. Galison sostiene que la relación entre éstas se muestra desde una continuidad que se da en tres niveles.

En primer lugar se da una *continuidad pedagógica*, que consiste en el aprendizaje de técnicas, las cuales son adoptadas y aplicadas en diferentes tradiciones para lograr el diseño, construcción o modificación de un experimento. En segundo lugar se da una *continuidad técnica*, que puede identificarse a lo largo de la historia del diseño y construcción de los instrumentos. Finalmente, se da entre las tradiciones una *continuidad demostrativa o epistémica*, que consiste en la argumentación propia de cada tradición.

En el caso de la tradición de la imagen hay una búsqueda del “evento dorado”, es decir, una imagen cuya claridad y distinción lleve a la aceptación de determinado evento. No todas las imágenes significativas constituyen un evento dorado. Éste representó una forma característica de demostración que no era accesible para la tradición lógica sino hasta los 80. Para poder considerar algo como un evento dorado era preciso una imagen completa, definida y libre de toda distorsión. Lo anterior representó algo difícil de lograr. Sin embargo, cuando fue posible hacer argumentos estadísticos de grandes cantidades de fotografías, se pudieron analizar fotografías individuales. Contrario a la tradición de la imagen, la tradición lógica descansa

fundamentalmente en demostraciones estadísticas, que fueron tan cuestionadas como el caso del evento dorado.

Tanto la tradición de la imagen como la tradición de la lógica tuvieron sus éxitos; no puede afirmarse que una u otra lograra una hegemonía sobre la disciplina de física. La tradición de la imagen sostenía que sólo mediante la viveza de una imagen podrían conocerse los elementos causales. En contra de esto, la tradición de la lógica señalaba que el planteamiento anterior representaba problemas dado que nada ocurre sólo una vez.

Ambas tradiciones competían en todos los niveles: “evento dorado”¹⁹ contra demostración estadística, la objetividad del registro pasivo contra lo persuasivo del control experimental, visión contra números, la fotografía contra lo electrónico” [Galison, 1997, p. 25]. Para Galison cada tradición ha capturado algo crucial acerca del conocimiento empírico de la física, por lo que los experimentos deben verse como una colaboración entre ambas tradiciones, más que desde una u otra tradición.

2.2 El experimento en la física de altas energías

Dentro de la multiplicidad de prácticas experimentales que podemos encontrar en la disciplina de la física, nos centraremos en las de la física de altas energías. Revisaremos la caracterización que hace de las mismas Knorr-Cetina [Knorr-Cetina, 1999]. La autora se centra en el estudio de algunas comunidades científicas como “maquinarias” para la construcción de conocimiento. Lo anterior tiene la finalidad de poner énfasis en el proceso de construcción de conocimiento, en lugar de considerarlo como un producto intelectual o tecnológico terminado.

Al igual que Galison, se preocupa por estudiar las prácticas de laboratorio. Éste provee un ambiente que mejora el orden natural con respecto al orden social. Lo anterior es posible dado que los objetos naturales se tornan flexibles, es decir, dentro de éste no se trabaja con los objetos como están en la naturaleza, sino con sus imágenes o con sus trazos visuales, audibles o electrónicos, en suma, con versiones purificadas y simplificadas de los que están ahí afuera.

¹⁹ Por “evento dorado” se entiende que se tiene un experimento o imagen que permiten afirmar la existencia de una partícula.

En los laboratorios no es posible ni necesario trabajar con los objetos como son en la naturaleza, sino que pueden sustituirse, transformarse y tener versiones parciales de los mismos. Además, en relación con la espacialidad, no es preciso trabajar con ellos en su “ambiente natural”²⁰, sino que es posible trasladarlos al laboratorio y manipularlos. Finalmente, en relación con la temporalidad, no es preciso esperar a que un evento ocurra, sino que puede prescindirse de los ciclos naturales de ocurrencia y hacer que éstos sucedan con la frecuencia suficiente para su estudio continuo.

Para la práctica científica es preciso que los objetos sean extraídos de su “ambiente natural”. Sin embargo, son insertados en un nuevo campo fenoménico que está determinado por relaciones sociales; los objetos se vuelven tema de estudio en espacios con cierto orden social, desde donde son “preparados” para obtener conocimiento.

Es importante señalar que los objetos en el laboratorio están sujetos a procesos de manipulación, es decir, los objetos naturales son tratados como “materiales de transformación”, como “estados de objetos transitorios”, lo que significa que corresponden a una etapa de toda una serie de transformaciones. En relación con lo anterior podemos considerar la idea de móvil inmutable de Bruno Latour [Latour, 1990]. Éste sostiene que han de revisarse las prácticas de laboratorio, no tratando de comprender la mente de los científicos o las estructuras cognitivas, sino atendiendo al proceso por el cual lo que se produce en un laboratorio es transformado en inscripciones, es decir, signos, diagramas, imágenes, columnas, artículos, etc.. El interés no está en las grandes teorías que buscan explicar las prácticas del laboratorio, sino en el estudio del nivel más simple de destreza: las inscripciones²¹. Se estudia cómo ciertas prácticas y habilidades producen imágenes, así como el modo en que se lee y escribe sobre ellas.

Así, se verá que las imágenes se constituyen desde la posibilidad que tienen de combinarse, superponerse y después de todo un “proceso de limpieza”, de conformarse como una unidad capaz de movilizarse sin sufrir cambios.

²⁰ La expresión “ambiente natural” se utiliza para diferenciar entre las partículas que se producen con un instrumento determinado y las que proceden de los rayos cósmicos.

²¹ La noción de inscripción es tomada por Latour de Derrida, según el cual ésta “... designa una operación más básica que la escritura... Se utiliza para resumir todos los trazos, manchas, puntos, histogramas, números registrados, espectros, picos, etc...” [Latour, 1995, p. 55, Nota a pie de página].

Latour no afirma que la escritura y las imágenes expliquen por sí mismas la actividad científica, sino que, más bien, ayudan a fortalecer cualquier explicación. Lo que importa no es la historia de la escritura o la visión, sino el estudio de qué es lo que permite reunir, presentar, incrementar, hacer más efectiva o asegurar una explicación. Se afirma que la manipulación de los escritos, imágenes, diagramas, etc., ayudan a sostener, a hacer más creíble y dar consistencia a una explicación. De las inscripciones se estudiará no lo relacionado con la percepción, sino lo que permite su movilización, sin que haya cambio alguno en aquello que se moviliza. Las inscripciones son objetos que tienen las características “de ser móviles, pero también inmutables, presentables, leíbles y combinables con otras” [Latour, 1990, p. 26].

Es característico de la actividad científica el que una vez que se ha “observado algo en la naturaleza” se busque capturarlo en una inscripción; es menos confuso tratar con un objeto de dos dimensiones en una superficie plana, es decir, con una imagen en papel, que con un objeto tridimensional. Generalmente, en el laboratorio se trabaja con inscripciones, con los registros o trazos de los objetos²², por lo que es posible observar una continua preocupación por encontrar o inventar nuevos instrumentos de visualización, que permitan que las características de los objetos se representen desde imágenes, diagramas, etc.

Una característica más de las inscripciones es que son planas, lo que las hace más fáciles de manejar. “No hay nada más fácil de dominar que una superficie plana de unos pocos metros cuadrados; no hay nada oculto” [Ibid, p. 45]. La escala de las mismas puede ser cambiada sin que se modifique el objeto representado. Además, esto posibilita que su reproducción y propagación sea a bajos costos.

Toda vez que las inscripciones son móviles, planas, reproducibles y con la posibilidad de modificar su tamaño, entonces pueden combinarse. Esta característica permite la superposición de varias imágenes de diferente origen y escala. Lo anterior hace posible que después de todo un proceso las inscripciones puedan insertarse en un texto escrito.

²² En relación con esto puede considerarse el texto de Barry Barnes, “El problema del conocimiento”, en el que argumenta que “... las representaciones pictóricas o verbales, realistas o abstractas, son conjuntos contruidos activamente a partir de convenciones o recursos culturales significativos, que se comprenderán y evaluarán en términos de su papel en la actividad” [Barnes, 1985, p. 62].

Así, las inscripciones se extienden a los objetos del mundo, permitiendo que aunque se trabaje sobre papel con reglas y números, se manipulen objetos tridimensionales del exterior²³.

A la flexibilidad de los objetos naturales en el laboratorio se puede agregar la flexibilidad de los científicos. Éstos se constituyen como tales al formar parte de un campo de investigación que tiene determinadas estrategias e instrumentos para la producción de conocimiento. “Así como los objetos son transformados en el laboratorio en imágenes, extractos y una multitud de otras cosas, así los científicos son reconfigurados para convertirse en sujetos epistémicos²⁴ específicos” [Knorr-Cetina, 1999, p. 32].

Es importante, pues, pensar los laboratorios como procesos a través de los cuales las reconfiguraciones de los objetos naturales y de los científicos se negocian, implementan, superponen y reemplazan.

“En los experimentos de física de altas energías el orden natural es reconfigurado como un orden de signos” [Knorr-Cetina, 1999, p.40]. Éstos pueden ser, como vimos con Galison, imágenes, un conjunto de datos o ambos. El rasgo característico de la experimentación es la construcción de los objetos como signos de eventos más que como son los eventos en sí mismos, pues éstos se insertan en un nuevo régimen espacial y temporal.

La física de altas energías, pues, es una “maquinaria” que procesa signos, trabaja con objetos que son separados de su ambiente, que se reconstruyen dentro de los límites de una tecnología de representación de muchos niveles. Desde ésta es posible derivar efectos verdaderos con operaciones de procesamiento de signos, lo cual permite el acceso al mundo real, así como dar estabilidad a los resultados.

Los objetos naturales, nos dice Knorr-Cetina, no se usan o se usan muy poco en los experimentos. Cuando se usan es por un periodo de tiempo muy breve, en relación con la duración de los experimentos. Debido a esto es posible afirmar que los físicos tratan poco con los objetos sobre los cuales se realiza la investigación. Incluso los objetos con los que se trabaja son de tamaño tan pequeño que sólo pueden ser vistos indirectamente, a través de detectores.

²³ “El resultado es que podemos trabajar sobre papel con reglas y números, pero manipulamos objetos tridimensionales “out-there”” [Latour, 1990, p. 46].

²⁴ La noción de epistémico que usa Knorr-Cetina [Knorr-Cetina, 1999] refiere a estrategias y prácticas asumidas para promover el carácter de verdadero de los resultados.

Además, son demasiado rápidos para ser capturados; "... la mayoría de las partículas subatómicas tiene una vida corta, son criaturas transitorias que sólo existen durante una billonésima de segundo" [Knorr-Cetina, 1999, p. 48]. Los objetos con los que trabajan los físicos están sujetos a una constante transformación, su modo de existencia siempre es pasado, historia.

La ocurrencia de una partícula sólo puede ser establecida por la huella que deja cuando pasa a través de las diferentes piezas que constituyen el instrumento. Cuando se afirma que un detector "ve" o "siente" la presencia de una partícula eso significa que registra su paso a través de una sustancia (un líquido, como en el caso de la cámara de burbujas, un sólido o una combinación de gases).

Así, podemos decir que los físicos no trabajan directamente con las partículas, sino con los trazos de éstas en los materiales del detector debido a la liberación de electrones, así como a la emisión de luz por parte de los mismos. De entre las múltiples representaciones que se obtienen del detector sólo muy pocas de éstas pueden considerarse de interés para los físicos. Las representaciones se reconstruyen hasta acercarse a aquellas partículas que son objeto de estudio.

Sin embargo, antes de poder constituirse en signos, los trazos de las partículas se encuentran distorsionados con una gran cantidad de trazos que no son relevantes para el estudio en cuestión, debido a que pertenecen a otra clase de eventos o a que son artefactos del instrumento utilizado; esto trata de evitarse desde la construcción del mismo.

En varios campos científicos se asigna a las mediciones un valor importante para la experimentación. Lo anterior se basa en el supuesto de que podrían proporcionar evidencia, es decir, permitirían reforzar o refutar una teoría, sugerir un nuevo fenómeno, resultados "interesantes", etc.. Así pensadas, las mediciones adquieren un valor irremplazable en la validación del conocimiento, ya que se consideran como evidencia y árbitro en disputas científicas. Sin embargo, el considerar de este modo las mediciones pierde de vista el hecho de que éstas no son importantes en sí mismas, sino que sólo tiene significado dentro de una tradición.

En la física de altas energías, las mediciones se definen más por sus imperfecciones y defectos que por cualquier otra cualidad. Así, nos dice Knorr-Cetina, los físicos afirman que "los datos puramente experimentales no

significan nada en sí mismos” [Knorr-Cetina, 1999, p. 53], es decir, los datos no son tomados como son en realidad, sino que el significado de estos depende de la configuración de un detector particular; otro detector, con su conjunto de criterios, llevará a otras mediciones. El sentido de éstas se relaciona estrechamente con la configuración del detector mismo²⁵. Hay que agregar que las mediciones en los experimentos de la física de altas energías no se toman como unidades aisladas, sino que se relacionan unas con otras, se superponen; una medida experimental “es un orden de cantidades amputadas” [Knorr-Cetina, 1999, p. 55]. Lo que importa es la posición de éstas en una estructura de relaciones, a la cual se agregarán muchas más antes de que sea útil.

Un experimento y las reconstrucciones de éste se basan en el supuesto de que se conoce apropiadamente el funcionamiento del detector, así como el conjunto de criterios usados para la medición. Por lo que la preocupación de los científicos se centra en observar, controlar, mejorar y comprender los componentes del proceso y el proceso mismo de experimentación. Si no se tiene acceso directo a los objetos de estudio, esto puede compensarse con un conocimiento, lo más amplio y exacto posible, de los dispositivos (detectores y criterios de medición) con los cuales se pretende el acceso indirecto a dichos objetos.

La mayor parte del tiempo de un experimento se dedica al diseño, construcción e instalación de los componentes de éste, así como al examen de cada aspecto de su funcionamiento. Los detectores son instrumentos que se crean y ensamblan dentro del experimento, por lo que es preciso conocer su funcionamiento, lo que significa “ser capaz de hacer un mapa perfecto de esto y tratar de desdoblarse lo que ha pasado entre la entrada y salida” [Knorr-Cetina, 1999, p. 56]. Por lo que la realización de un experimento está relacionada con el perfeccionamiento, con el logro de versiones más refinadas del mismo.

El cuidado y comprensión del experimento precisa de la observación o una vigilancia presente en todos los niveles del mismo. El monitoreo es una forma sofisticada de observación. Éste consiste en que las computadoras “ven”,

²⁵ “Las mediciones son totalmente dependientes de la configuración del detector y del criterio usado... Esta [la medición] es un número experimental, que no dice nada en sí mismo. Es absolutamente carente de significado... la cantidad experimental debe ser puesta en relación con la teoría...” [Knorr-Cetina, 1999, p. 54].

mientras que los humanos “ven” los mensajes proyectados en los monitores o las impresiones con los datos de la computadora. A la observación se agrega la descripción. Ésta consiste en construir “historias” del experimento a través de bitácoras, así como de grabaciones y registros computarizados²⁶.

Tratando de caracterizar la dinámica de las comunidades de físicos de altas energías, Knorr-Cetina habla de tres acciones que se dan en éstas, a saber, desdoblar, construir y enrollar.

Con desdoblar se refiere al trabajo que se realiza para desenredar las características de los objetos físicos y técnicos, sus detalles, composición y comportamiento, mostrando el proceso por el cual se llega a éstos. Entre tanto, construir hace referencia a los objetos o información que permiten la relación de los componentes de un experimento con los de otros; los experimentos de altas energías están en relación con otros experimentos. Una de las estrategias de construcción más importantes es la construcción de “experimentos hermanos”, los cuales se realizan al mismo tiempo, están en el mismo laboratorio y cuya finalidad, entre otras, es la de obtener resultados para compararse entre sí. Por último, enrollar indica que es posible combinar recursos y cantidades que tienen orígenes diversos; se habla de mezclas, de superposición de datos.

Otro aspecto que busca analizar Knorr-Cetina es la complejidad social de los experimentos de la física de altas energías a gran escala, es decir, los mecanismos a través de los cuales los experimentos se establecen como estructuras comunitarias y colectivas.

Así, nos dice que la principal cuestión sociológica alrededor de estos experimentos gira en torno a su tamaño. No sólo se tiene un gran número de investigadores por instituto, además se tienen grupos conformados por varios institutos que se localizan a lo largo del mundo. Todos esto con un objetivo común. “Es sorprendente que experimentos de este tamaño, funcionen y funcionen exitosamente” [Knorr-Cetina, 1999, p. 160].

²⁶ En relación con los reportes sobre los experimentos Geoffrey Cantor [Cantor, 1989] sostiene que éstos no son un recuento fiel de la realización de los mismos, sino que son una reconstrucción retrospectiva en la que se hace una selección de entre todas las pruebas experimentales, incluyendo algunas y omitiendo otras. Dichos reportes no son una nueva versión de las notas del laboratorio sino que son el resultado de todo un proceso por el cual los resultados de los experimentos se seleccionan y organizan con cierta intencionalidad, para dirigirse a cierto público.

Sin embargo, no puede pensarse que los experimentos de altas energías han tenido siempre las dimensiones mencionadas. Éstos aumentaron su tamaño en los últimos años, ya que fue preciso un número mayor de investigadores debido al tamaño de los detectores que se necesitaban para realizar los experimentos, así como debido a que la física entró en un proceso industrial, es decir, en el desarrollo de un experimento se involucran varias disciplinas, empresas, se dispone de grandes cantidades de dinero, etc.

Lo característico de estos experimentos está en que se puede observar en ellos formas colectivas de trabajo. Los experimentos no están conformados por científicos individuales, sino que legal y financieramente constituyen institutos. Además, éstos se relacionan de diferentes modos, buscando formas cooperativas de trabajo para el logro de un fin común. En la medida en que se fomenta el trabajo colectivo se disminuye la importancia del individuo como sujeto epistémico.

En muchos campos de investigación científica se enfatiza el trabajo del científico como individuo; su investigación, sus publicaciones, aparecen como producto de un sujeto. Quizá aparezcan en las publicaciones los nombres, en orden alfabético, de todos los que colaboraron en la investigación o en el caso de un trabajo de investigación doctoral, se señale quiénes fueron los que proporcionaron las ideas y dirigieron dicho trabajo.

En los experimentos de la física de altas energías el conocimiento no puede ser logro de un individuo, sino que es producto de la constitución de equipos que crean mecanismos comunitarios y colectivos de trabajo. Así, la investigación y las publicaciones tienen un autor colectivo, son producto de un grupo.

En relación con esto, el líder de un experimento no es sino un vocero, un representante del experimento y las partes que lo constituyen. Él habla por el experimento, no por sí mismo. Mientras en la mayoría de los campos científicos se fomenta la autoría individual para mantener al individuo como sujeto epistémico, en los experimentos de altas energías se cambian los nombres de los individuos por el nombre del experimento. Lo anterior debido a que ningún individuo o grupos de individuos podrían obtener los resultados que al final se obtendrán con el experimento. El individuo se vuelve un elemento de una unidad, el experimento, que funciona como un sujeto epistémico colectivo. "Es el trabajo del experimento el que viaja a través de la comunidad bajo el nombre

del experimento, no los científicos juntos con su trabajo” [Knorr-Cetina, 1999, 168]. Cuando se da un logro individual, éste se toma como una contribución y se evalúa en relación con el experimento; los logros del todo redundan en el beneficio de los individuos.

Aunado a los modos de organización grupal, los físicos tienen formas de organización en torno a los objetos con los que trabajan. Éstos no se definen por una similitud con los objetos reales, sino por una proximidad a éstos. Además, es necesario un modo para poder “tener” a los objetos con los que se trabaja. Ésta posibilidad la da el discurso. A través de éste los objetos se extienden, llegando a ser del conocimiento de todos los participantes del grupo de trabajo. Un modo de discurso lo podemos encontrar en los reportes. Éstos proveen una historia del experimento, cuál es su estatus, qué ha pasado con el equipo, los datos, los cálculos físicos, etc. Hay que agregar que el discurso que se da sobre los objetos o actividades de trabajo es “público”, es decir, cualquiera dentro de determinada comunidad tiene acceso a él.

Knorr-Cetina, pues, nos presenta una caracterización de los experimentos de la física de altas energías, según la cual éstos buscan la constitución de formas colectivas de trabajo. “Prácticas como las que encontramos en la investigación de la física de altas energías resulta de la redefinición de los físicos como “miembros” y “participantes” – como elementos en una unidad más grande” [Knorr-Cetina, 1999, p. 171].

3. EL NEUTRINO

El acercamiento a la física de la segunda mitad del siglo XX, en específico a la física de altas energías, tiene como objetivo el estudio de un caso particular: el neutrino. El estudio de éste nos mostrará la relación entre experimento, teoría e instrumento. Desde el caso del neutrino podremos ver cómo trabajan en colaboración varias disciplinas y científicos para mostrar la existencia de la partícula, dar una descripción de las características de la misma, hasta su uso como herramienta para el conocimiento del funcionamiento del sol.

A finales de 1930 se consideraba que la materia estaba constituida por protones y electrones, los cuales se localizaban en el núcleo del átomo. La pérdida de energía en el proceso de desintegración beta²⁷, así como la constitución misma del núcleo atómico eran anomalías en la disciplina. Dentro de este contexto, Wolfgang Pauli postuló la existencia de una partícula de la que no se tenía evidencia directa, pero que permitía dar una explicación a lo anterior. Dicha partícula fue llamada “neutrón”, el cual se ubicaba en el núcleo atómico. Por su parte, en 1932 James Chadwick anunció que había observado el neutrón.

No es sino hasta fines de 1932 cuando en el intento por resolver el problema de la conservación de la energía, Eduardo Amaldi y Enrico Fermi distinguen la partícula postulada por Pauli de la de Chadwick. El neutrón de Chadwick conserva su nombre, mientras que el de Pauli es llamado neutrón chiquito, es decir, “neutrino”.

En 1933, Fermi desarrolló una teoría sobre la desintegración beta y la interacción de las partículas en el átomo nuclear. El neutrino fue considerado como una partícula que desempeñaba un papel central en dicho proceso, por lo que el éxito de la teoría, así como el hecho de que se observaran sus predicciones, llevó a considerarlo como existente y esencial en la radioactividad y la física nuclear. Así, la mayoría de los científicos aceptaron el neutrino como

²⁷Dentro de la física nuclear, la desintegración beta es un tipo de desintegración radioactiva en la cual se emite una partícula beta (electrón o positrón). Un neutrón se desintegraría en un protón, un electrón y un antineutrino o un protón se desintegraría en un neutrón, un positrón y un neutrino. β^-

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad \text{y} \quad \beta^+ \quad p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$

una de las partículas de la física moderna. “Debe reconocerse, de cualquier modo, que independientemente de la observación del “neutrino libre” en interacción con la materia, la teoría fue tan atractiva en su explicación de la desintegración beta que la creencia en el neutrino como entidad real fue general” [Franklin, 2004, p. 159].

Sin embargo, esto no fue suficiente para justificar la existencia del neutrino, por lo que fue preciso diseñar un experimento que permitiera obtener evidencia más directa de la existencia del mismo. Con el neutrino teórico, la preocupación era poder detectar los neutrinos libres. Lo anterior representaba un problema debido a que eran partículas sin carga, de una masa muy pequeña o casi cero y que tiene interacción gravitacional y débil²⁸. Así, se realizaron varios experimentos, aunque la mejor evidencia para la existencia del neutrino siguió siendo el éxito de la teoría de Fermi, de acuerdo con la cual la existencia de dicha partícula es la explicación más plausible para determinados fenómenos dentro de la disciplina de la física [Mateos y Navarro, 2006, p. 4].

Muchas de las propiedades del neutrino eran poco conocidas, pero al igual que el electrón se pensó que éste debía tener una antipartícula²⁹. Aunado ha esto, el descubrimiento de la radioactividad artificial por Frederic Joliot e Irene Curie (1934) hizo factible la detección de neutrinos, pues se pensaba que éstos se emitían junto con un positrón y un antineutrino.

Puede afirmarse que el estatus ontológico del neutrino a finales de los 30 es el de una partícula de la que no se tiene evidencia directa y que se supone se emite en la desintegración beta.

Hacia 1940, con el desarrollo del proyecto Manhattan el interés por el estudio de los neutrinos pasó a segundo plano. Además, no se tenía la seguridad de

²⁸ En física, una interacción o fuerza fundamental es un mecanismo por medio del cual una partícula interactúa con otra; los fenómenos físicos pueden explicarse por medio de estas. Dentro de la física moderna se consideran cuatro interacciones o fuerzas fundamentales, a saber, gravitación, electromagnetismo, interacción débil e interacción fuerte. El neutrino es una partícula que tiene interacción gravitacional e interacción débil, la cual es responsable de algunos fenómenos que suceden a escala del núcleo atómico, como la desintegración beta. Esta interacción se acopla a un tipo de carga llamada sabor, que la poseen los quarks y leptones y produce que estas cambien su sabor, es decir, decaigan en partículas más livianas.

²⁹ En 1928 Dirac realizó un trabajo donde diseñó una ecuación relativista que describe al electrón. Lo anterior le permitió afirmar la existencia de la antipartícula del electrón, el positrón. En 1932 C. D. Anderson postuló la existencia de electrones positivos, es decir, positrones, en los rayos cósmicos. Dado que los positrones son la antipartícula de los electrones, se afirmó que cada partícula fermiónica tenía su respectiva antipartícula.

que hubiera algún método que permitiera su detección, al mismo tiempo que se consideraba como evidencia suficiente el éxito de la teoría de Fermi, así como los resultados de los experimentos; la detección de éste era sólo problema de tiempo y debido a que se consideraba parte esencial en el proceso de desintegración beta, los científicos estaban convencidos de su existencia [Ibíd., p. 8 – 10].

Con la tecnología desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial fue posible el diseño de un experimento para la detección del neutrino, el cual fue realizado por Fredrik Reines y Clyde Cowan. En un principio se pensó en usar la explosión de una bomba atómica para obtener fragmentos de fisión, en los cuales se emite un electrón y la antipartícula del neutrino, el antineutrino. Así, pensaron que podía ubicarse un detector de neutrinos cerca de la explosión de la bomba atómica, para captar dicho fenómeno. Sin embargo, ¿cómo podría realizarse el experimento sin que el instrumento se destruyera con la explosión?³⁰. El experimento no se realizó, sugiriéndose el uso de un reactor de fisión nuclear; éste proporcionaría un flujo menor de antineutrinos que la explosión, por lo que el experimento tardaría meses o un año en realizarse.

En tanto que la teoría de Fermi proporcionaba una explicación del proceso de desintegración beta, el experimento de Reines y Cowan consistía en la observación del fenómeno inverso, es decir, la desintegración beta inversa³¹. En ésta se detectaría la antipartícula del neutrino, el antineutrino; la evidencia de su ocurrencia sería la señal emitida por los rayos gamma en la aniquilación de un positrón con un electrón, así como los rayos de la captura de un neutrón por un núcleo de cadmio [Franklin, 2004, p. 169-70]. La observación de este fenómeno permitiría afirmar la existencia del neutrino.

En 1956, después de tres años de experimentos, Reines y Cowan anunciaron la detección del neutrino. Dicha afirmación no fue cuestionada, sino que fue asumida sin problemas por parte de la comunidad científica; la existencia del neutrino, así como sus propiedades, dejaron de considerarse problemáticos.

Un aspecto fundamental en el diseño y desarrollo de un experimento se basa en el funcionamiento correcto del detector, es decir, en el conocimiento

³⁰ Aunado a esto, el uso de una bomba atómica para el desarrollo de un experimento no se consideraba viable debido a la situación política mundial, la Guerra Fría.

³¹ $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$

exhaustivo de cada uno de los componentes, como sostiene Knorr-Cetina. En otras palabras, siguiendo a Margaret Morrison [Morrison, 1986], para que pueda afirmarse que un experimento es conceptualmente importante, se requiere que éste sea técnicamente bueno. Así, en el experimento de Reines y Cowan se presentaron ruidos de fondo, por lo que hubo que mejorar el experimento y elaborar argumentos que lo justificaran y legitimaran. En la versión mejorada del experimento el detector se dividió en tres partes, así como el blanco en dos secciones. Unos ruidos de fondo provenían de los rayos cósmicos, otros provenían de las partículas producidas por el reactor mismo. Se afirmó que los resultados que se obtenían del experimento no eran armados artificialmente o una manipulación completa por parte del experimentador, mostrándose que había una señal dependiente del reactor; los experimentalistas argumentaron que los eventos observados no podrían ser una casualidad.

Los científicos no trabajan directamente con las partículas, sino con los trazos de éstas en los materiales que constituyen el detector. Así, los eventos del experimento, las señales de cada detector, fueron exhibidas en un osciloscopio y se fotografió cada evento. Para dar confiabilidad al experimento se procuró tener registro detallado de una gran cantidad de eventos para cada uno de los pasos del argumento sobre la existencia del antineutrino, afirmándose que la consistencia de los eventos registrados sería imposible si no estuviera presente éste. Incluso se incorporaron algunos resultados que no fueron completamente favorables, afirmando que no eran inconsistentes con los resultados que se esperaban obtener.

Podemos ver cómo los experimentos realizados para la detección del neutrino son una combinación de las tradiciones dentro de la disciplina de la física mencionadas por Galison [Galison, 1997]. En primer lugar, como parte de la tradición de la imagen se obtienen fotografías de los diferentes eventos del experimento para lograr una imagen de los mismos³². En segundo lugar, como parte de la tradición de la lógica, no se busca sólo una fotografía, sino que se logran registros detallados de grandes cantidades de eventos. La combinación

³² Es necesario precisar que en el caso del neutrino no se obtendrá una imagen de éste debido a sus características, lo que se obtendrá son imágenes de eventos que implican su existencia.

de las imágenes con los registros proporcionarían los argumentos necesarios y suficientes para afirmar la existencia del neutrino.

En 1961 S. Schwartz, J. Steinberger y L. M. Lederman propusieron la existencia de un segundo tipo de neutrinos, que posteriormente serían miembros de tres diferentes familias de partículas, con sus respectivas antipartículas. Con esto se dieron cambios en el modo en que se consideraba la partícula [Mateos y Navarro, 2006, p. 11].

Hacia 1964, dentro de las discusiones sobre el modelo solar, John Bahcall afirmó que sería posible detectar neutrinos solares, los cuales nos permitirían “mirar” al interior de la estrella. La observación de éstos permitiría verificar la hipótesis de que en las estrellas se genera energía nuclear. Lo anterior debido a que los neutrinos “son la única partícula producida por reacciones termonucleares que tienen la habilidad de penetrar desde el centro del sol a la superficie y escapar al espacio” [Ibíd., p. 11-12]. Ray Davis diseñó un experimento para detectar los neutrinos solares emitidos por la fusión nuclear en el sol, lo que sería una comprobación directa de que ésta es la fuente de energía de la estrella. Si los neutrinos interactúan muy poco con la materia, entonces viajan fácilmente del interior del sol al exterior y es posible detectarlos en la tierra, a diferencia de los rayos de luz que necesitan millones de años para salir del núcleo de éste al exterior. “Su detección en la Tierra nos diría sólo ocho minutos más tarde qué está pasando dentro del sol” [Collins y Pinch, 1996, p. 144].

La versión del experimento de Davis que vamos a considerar es la de Harry Collins y Trevor Pinch [Collins y Pinch, 1996]. Su trabajo sobre el problema de los neutrinos solares nos permitirá complementar nuestra comprensión de la historia de la partícula, ya que muestra los factores sociales³³ que intervienen en la práctica científica: qué relaciones, intercambios o negociaciones se establecieron para el diseño, recaudación de recursos y realización del experimento. Así mismo, como constructivistas, los autores nos mostrarán los

³³ En relación con esto se pueden revisar algunos textos sobre Sociología de la Ciencia: Harry Collins, Trevor Pinch (1996), *El Golem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*, Crítica, Barcelona; Pickering, A., (1999), “The Mangle of Practice. Agency and Emergence in the Sociology of Science”, en M. Biagoli, comp., *The Science Studies Reader*, pp. 373 – 393; Latour, D. Y S. Woolgar, (1986), *Laboratory Life, The Construction of Scientific Facts*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

vínculos que se formaron entre diferentes instituciones e investigadores, para el desarrollo del mismo.

El experimento de Davis consistía en un gran pozo de cloro enterrado a muchos metros de profundidad, para evitar efectos no deseados producidos por los rayos cósmicos. Con éste se buscaba obtener una forma radiactiva del argón producida por la reacción del cloro con los neutrinos que llegaban del exterior a la tierra³⁴. Sin embargo, este experimento que prometía ser la evidencia directa de la fusión no obtuvo los resultados esperados.

Desde la teoría estelar formulada por William Fowler se consideró que el sol producía neutrinos con la cantidad de energía suficiente para poder ser detectados en la tierra. El mismo Fowler, quien formaba parte del Instituto de Tecnología de California (CalTech), comunicó lo anterior a Davis, con lo cual se inició la colaboración entre éste y dicha institución. Bahcall, alumno de Fowler, colaboró con Davis en la formulación de la predicción del número de neutrinos que esperaban detectarse. Así mismo, se contó con la participación de un grupo destacado de físicos nucleares pertenecientes al Laboratorio de Radiaciones Kellogg.

Siguiendo a Collins y Pinch podemos ver que fue necesario el trabajo conjunto de varias disciplinas. Con la ayuda de la química sería posible separar el argón radiactivo formado en el cloro. La física nuclear permitiría la medición de las reacciones nucleares en el sol, así como de la interacción entre los neutrinos y el cloro del detector. La astrofísica³⁵ proporcionaría un modelo detallado de la estructura y evolución del sol, lo cual era indispensable toda vez que se conoció que los neutrinos eran sensibles a la temperatura y se requería del conocimiento del funcionamiento de la estrella. Aunado a esto se dio origen a una nueva disciplina, la física de neutrinos, que buscaba dar una explicación de la partícula desde su salida del núcleo del sol a la tierra.

Pero la realización del experimento requería, además de su diseño, los recursos necesarios para su realización. Se calculó que tendría un costo de seiscientos mil dólares. El proceso de recaudación de fondos consistió en una

³⁴ El Cloro 37 se transformaría en Argón 37. Un neutrino es absorbido por un neutrón del cloro, éste decae en un protón y un electrón, resultando la configuración del Argón. ${}_{17}^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + e^-$.

³⁵ La astrofísica es una disciplina que surge en los años 30, que trata de dar una explicación del funcionamiento de las estrellas desde la teoría de la evolución estelar.

labor de convencimiento³⁶ sobre la importancia y viabilidad del experimento. Por medio de publicaciones, tanto especializadas como populares, trató de mostrarse la importancia de la realización del experimento y de sus resultados para el conocimiento del funcionamiento de las estrellas. El experimento fue presentado como “crucial” para la teoría de la evolución estelar.

Una vez que se consiguieron los fondos suficientes, el problema fue encontrar una mina en la cual se pudiera instalar el pozo para realizar el experimento. Fue la Homestake Mining Company, en Estados Unidos, la que aceptó llevarlo a cabo.

Realizado el experimento, los primeros resultados obtenidos en agosto de 1967 no fueron favorables, dando lugar a lo que se conoce como el problema de los neutrinos solares. Sin embargo, éste no perdió credibilidad y ninguno de los supuestos teóricos en los que descansaba fue puesto en duda. Aunque el experimento fue cuestionado, la reputación de Davis no se deterioró sino que éste adquirió fama de buen experimentador, al mismo tiempo que dichos resultados no llevaron a abandonar el experimento ni a cuestionar la teoría de la evolución estelar. Así se emprendieron revisiones y modificaciones al experimento.

El problema de los neutrinos solares consiste en “... una discrepancia entre la predicción y el resultado experimental” [Pinch, 1985, p.5], el número de partículas detectadas fue menor al predicho, ya que sólo se detectó una tercera parte. Frente a esto, Bahcall sostenía que los resultados no estaban en discordancia con la teoría, por lo que se dedicó a afinar la predicción teórica. Los resultados del experimento siguieron siendo desfavorables. Sin embargo, la postura de Bahcall fue cambiando con la presión que ejercieron las afirmaciones de otros teóricos acerca de que el resultado experimental estaba en desacuerdo con la teoría.

Tratando de dar solución a la anomalía mencionada, tanto físicos como astrofísicos trataron de resolver el problema de los neutrinos solares. Así, en la Física de Altas Energías se diseñaron aceleradores para conocer más acerca del neutrino, convirtiéndose la producción de éste en un problema tecnológico.

³⁶ Siguiendo a Collins y Pinch, hay indicios de que las predicciones del flujo de neutrinos solares variaban con la necesidad que los físicos tenían para conseguir fondos [Collins y Pinch, 1996, 152].

Como posibles soluciones al problema, en 1967 Kenneth Jacobs propuso que sería posible que el argón estuviera atrapado en alguna parte del pozo. En el campo de la astrofísica se propuso que sería posible que material más frío del exterior del sol se hubiera mezclado con el del núcleo, lo que reduciría el flujo de neutrinos. Sin embargo, en 1969 el trabajo de Bruno Pontecorvo y V. Gribov sugirió que los neutrinos *oscilaban* entre uno y otro tipo. Los neutrinos que están en el sol son de un tipo y en su largo viaje a la tierra oscilan a otro. Así, la solución más aceptada es la de la “oscilación de los neutrinos”³⁷. El experimento de Davis sólo es sensible para captar un tipo de neutrinos, lo que permitiría explicar el porqué del desacuerdo entre la cantidad de partículas detectada y la predicha.

Como vimos, la diferencia entre la cantidad de neutrinos predicha y la observada llevó a la necesidad de estudiar la partícula misma. Se buscaron explicaciones teóricas para dicho problema, se diseñaron y construyeron nuevos aceleradores y detectores haciéndose posible la fabricación de neutrinos, lo que en física de altas energías se conoce como “fábrica de neutrinos”. Así, como dice Knorr-Cetina, los fenómenos pueden producirse con la frecuencia necesaria y suficiente para el estudio continuo de las partículas.

La revisión del experimento de los neutrinos solares nos permitió ver cómo el uso de la partícula para conocer el funcionamiento del sol, llevó al surgimiento de una nueva disciplina, al diseño de instrumentos que permitieran conocer sus características y a la producción de los mismos para su uso y estudio. Así mismo, nos mostró que la historia del experimento se relaciona con la de la teoría y la de los instrumentos pero que no depende de éstas. Al mismo tiempo, pudimos ver cómo las relaciones entre teoría y experimento son más complejas que la comparación entre predicciones teóricas y resultados experimentales. Se trata de todo un proceso de negociación, de la elaboración de estrategias que permitan legitimar o rechazar ciertas afirmaciones. Nos mostró que es posible la comunicación entre diferentes subculturas, al interior de una misma disciplina o entre diferentes disciplinas, para el desarrollo de un experimento; es posible lograr acuerdos mediante el establecimiento de una zona de intercambio, que surge de la necesidad de comunicación.

³⁷ El trabajo de los físicos L. Wolfenstein, S. P. Mikheyev y A. Y. Smirnov, lo mismo que los experimentos Sudbury y Kamiokande, fortalecieron la idea de la oscilación de neutrinos.

Los experimentos para la detección y estudio del neutrino fueron posibles por la colaboración entre teóricos y experimentalistas de diferentes disciplinas, así como diferentes instituciones. Agregando que, como afirma Knorr-Cetina, es característico de estos experimentos observar formas de trabajo colectivo para el logro de un fin común, las cuáles son posibles y además se realizan exitosamente. Así, el neutrino es un “concepto que empezó como una apología para una discrepancia aparente³⁸ y que llegó a ocupar un papel central en la física moderna” [Mateos – Navarro, 2006, p. 10]. Además, sostiene Franklin que aunque no se tiene una observación “directa” del neutrino como, por ejemplo, del electrón, se tiene un conocimiento mayor de éste desde su primera observación a la fecha. Aunque no se puede decir que se tenga un resultado definitivo, lo que se tiene proporciona argumentos para afirmar su existencia.

³⁸ La discrepancia consistía en la observación de un proceso –la desintegración beta– en el que no se conservaba la energía.

CONCLUSIONES

El estudio del neutrino nos mostró la complejidad de las prácticas experimentales que, como sostiene Ian Hacking [Hacking, 1996] no sólo tienen la finalidad de poner a prueba teorías. Experimentar tiene que ver con manipular la naturaleza, así como con la producción y estabilización de fenómenos desde determinada disposición de instrumentos. Además, siguiendo a Allan Franklin [Franklin, 1999, 1981] vimos que el experimento es todo un proceso que va desde el diseño del mismo hasta la argumentación acerca de la validez de sus resultados.

Siguiendo a Galison [Galison, 1997], el experimento es un ámbito dentro del trabajo del laboratorio, cuya comprensión, estudio e historia es independiente a la teoría e instrumentos. Aunque estos tres ámbitos se relacionan y están en constante intercambio, sus movimientos no son simultáneos.

Así mismo, el estudio del neutrino nos permitió ver, en primer lugar, la suposición de su existencia como una partícula que daría solución a algunas anomalías dentro de la disciplina. Con esto el problema de su detección no era central. En tanto que fue funcional, fue aceptado y reconocido por la comunidad de la física. Agregando que debido a sus características y los recursos disponibles, parecía poco probable su “observación directa”.

Sin embargo, para afirmar su existencia fue necesaria la evidencia experimental. La realización de un experimento se mostraba problemática debido a la peculiaridad de la partícula. Así, el diseño de un detector para la detección del neutrino constituyó la primera dificultad en la historia de la partícula. Los avances tecnológicos hicieron viable el diseño de un experimento para su detección. En esto se observó que, como afirma Knorr-Cetina, se buscaba el conocimiento exhaustivo de su funcionamiento. Aunado a lo anterior, también pudimos ver la combinación de la tradición de la imagen y de la lógica, como sostenía Galison, ya que se tenían imágenes de los eventos y, al mismo tiempo, un registro estadístico de las mismas.

Así, 1956 F. Reines y C. Cowan anuncian que tras varios años de experimentación el neutrino había sido detectado. Con lo anterior se asumió de modo generalizado y sin cuestionamientos la existencia de la partícula.

Posteriormente, con el problema de los neutrinos solares pudimos observar la colaboración exitosa de varios investigadores, disciplinas e institutos en el desarrollo del experimento. Al mismo tiempo, se observó la creación de una disciplina para el estudio de la partícula.

John Bahcall sostenía que sería posible detectar los neutrinos solares para conocer el funcionamiento del sol. Ray Davis diseñó un experimento que proporcionaría evidencia para la suposición de Bahcall. En el diseño de éste, como nos muestran Harry Collins y Trevor Pinch [Collins y Pinch, 1996], intervinieron un conjunto de estrategias para la obtención de los recursos necesarios para su realización. Además se necesitaba la combinación de conocimiento sobre el funcionamiento del sol y las reacciones nucleares que se producirían durante el desarrollo del mismo. Con lo anterior se hizo necesaria la colaboración entre varias disciplinas e institutos.

Una vez realizado el experimento sus resultados no coincidieron con la predicción. Esto no representó un gran problema debido quizá al elevado costo del experimento, en términos de trabajo teórico, experimental, tiempo y dinero. Sin embargo, el problema de los neutrinos solares –la diferencia entre la cantidad de neutrinos predicha y los que se detectaron– siguió presente. Lo que es de destacar es que el estudio del neutrino se volvió central, dando lugar a la física de neutrinos. Dentro de ésta se hizo posible la fabricación de los mismos, es decir, no sólo su detección en los rayos cósmicos, sino la producción en reactores para su uso y estudio continuo.

En la historia del neutrino, la partícula comenzó como un postulado teórico, como un concepto. Una vez confirmada su existencia, se convirtió en una partícula que se movió entre diferentes disciplinas, hasta su uso como instrumento para el estudio de las estrellas. Lo anterior llevó al surgimiento de una disciplina para su estudio. Finalmente, se hizo posible la fabricación de neutrinos para el estudio de sus características y su uso como herramienta. Así, pudimos ver el proceso por el cual dicha partícula pasó de ser una suposición a una realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayer, A. J., comp., (1965), *El positivismo lógico*, F.C.E., México.
- Barnes, Barry, (1985), "El problema del conocimiento" en *La explicación social del conocimiento*, León Olivé (comp.), UNAM, México.
- Bennett, T. (1999), "The exhibitionary complex", en *Representing the Nation: A reader histories, heritage and museums*, J. Evans, D. Boswell (eds.), Routledge, London and New York, pp.333-361.
- Bennett, T. (1999), "Usefull culture", en *Representing the Nation: A reader histories, heritage and museums* J. Evans, D. Boswell (eds.), Routledge, London and New York, pp.380-393.
- Cantor, G. (1989), "The rhetoric of experiment", en *The uses of experiment*, David Gooding, Trevor Pinch and Simon Schaffer (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 159 - 180.
- Collins, Harry, Pinch, Trevor (1996), *El Golem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*. Pedro Campos trad., Crítica, Barcelona.
- Daston, L. J. (1988), "Reviews on artifact and experiment", *ISIS*, 79: 3: 298.
- Daston, L. J. (1991), "Marvelous Facts and Miraculous Evidence in Early Modern Europe", *Critical Inquiry*, 18 (Autumn 1991), pp. 93-117.
- Findlen, P., (1994), "Searching for Paradigms" en *Possessing Nature, Museums, Collecting and Scientific Culture in Early Modern Italy*, UCLA, pp. 48-96.
- Franklin, A. (1981), "Discussions. What makes a 'good' experiment?", *Brit. Jour. Phil. Sci.*, 32: 367 – 379.
- Franklin, A. (1999), "The Roles of Experiment", *Phys. Perspect.*, 1: 35 – 53.
- Franklin, A. (2004), *Are there really neutrinos?: an evidential history*, Westview, Boulder, Colorado.
- Galison, P., (1987), *How experiments end?*, University of Chicago Press, Chicago.
- Galison, P., (1988), "History, Philosophy, and the Central Metaphor", *Science in Context*, 2, 1: 197 – 212.
- Galison, P., (1995), "Context and Constraints" en *Scientific Practice. Theories and Stories Doing Physics*, Jed. Z. Buchwald ed., The University of Chicago Press, Chicago-London.

- Galison, P., (1997), *Image and Logic. A material culture of microphysics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Golinski, J. (1998), *Making natural Knowledge: constructivism and the history of science*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hacking, I. (1996), *Representar e intervenir*, Sergio F. Martínez trad. Paidós – IIF/UNAM, México.
- Holmes, F. L. (1992), “Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?”, *History of Science*, xxx: 119 – 136.
- Hanson, Norwood, R. (1989), “Observación” en *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*, León Olivé y Ana R. Pérez Ransanz (comps.), UNAM – Siglo veintiuno editores, México, 216 – 252.
- Knorr - Cetina, K. (1999), *Epistemic Cultures. How the Sciences Make Knowledge*, Harvard University Press, Cambridge.
- Kuhn, T.S., (2004), *La estructura de las revoluciones científicas*, Carlos Solís Santos trad., 2ª. ed., F.C.E., México.
- Latour, B., (1990), “Drawing things together” en *Representation in Scientific Practice*, Lynch and Woolgar (eds.), MIT Press.
- Latour, B., (1995), *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*, Eulalia Pérez Sedeño trad., Alianza Universidad, Madrid.
- Martínez, S., (2003), *Geografía de las prácticas científicas*, UNAM – IIF, México.
- Morrison, M. (1986), “Discussions. More on the relationship between technically good and conceptually important experiments: A case study”, *Brit. J. Phil. Sci.*, 37 101 – 122.
- Mateos, G. y J. Navarro, (2006) “The uses of neutrinos: A historical perspective”, *European Journal of Physics*, 27:1257-64.
- Pinch, T. (1985), “Towards an Analysis of Scientific Observation: The Externality and Evidential Significance of Observational Reports in Physics”, *Social Studies of Science*, Vol. 15, 3 – 36.
- Shapin y Schaffer (1985), *Leviathan and the air – pump*, Princeton University Press, New Jersey.
- Shapin, S (1988), “The House of Experiment in Seventeenth – Century England”, *ISIS*, 79: 373 - 404.