



FILO:UBA
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Buenos Aires

G

Epistemología de la experimentación

El argumento del regreso del
experimentador como desafío a la
objetividad de los resultados
experimentales

Autor:

Zuppone, Romina

Tutor:

Cassini, Alejandro

2006

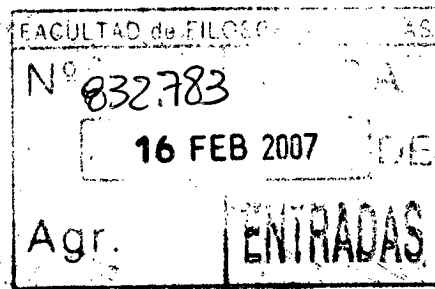
Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Licenciatura de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Filosofía.

Grado



FILO:UBA
Facultad de Filosofía y Letras

FILODIGITAL
Repositorio Institucional de la Facultad
de Filosofía y Letras, UBA



TESIS DE LICENCIATURA

**“EPISTEMOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN:
EL ARGUMENTO DEL REGRESO DEL EXPERIMENTADOR
COMO DESAFÍO A LA
OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS
EXPERIMENTALES”
(2006)**

**TESISTA: ROMINA ZUPPONE
DIRECTOR: DR. ALEJANDRO CASSINI**

**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
Dirección de Bibliotecas**

Contenidos:

Agradecimientos	4
Introducción	5

Capítulo 1- La experimentación como objeto de estudio epistemológico

1.1 El <i>olvido del experimento</i> en la filosofía clásica de la ciencia	7
1.2 Las funciones del experimento según la concepción heredada	8
1.3 ¿Qué es un experimento?	13
1.4 ¿De qué se ocupa la filosofía de la experimentación?	17
1. Las funciones del experimento	20
2. La autonomía de la experimentación	21
3. Relaciones entre teorías, datos e instrumentos	22
4. La objetividad y la validez de los resultados experimentales	24

Capítulo 2- La objetividad en la práctica experimental

2.1 El contexto del problema	26
2.2 Estrategias epistemológicas en la validación de resultados experimentales	29
1. Evaluación de los instrumentos utilizados	29
Intervención	29
Confirmación independiente	31
Validación indirecta	35
Uso de aparatos cuyo funcionamiento esté basado en teorías bien corroboradas	36
Calibración	37
2. Evaluación del diseño experimental	40
Eliminación de las fuentes de error	40
Eliminación de explicaciones alternativas	41
3. Evaluación del tratamiento estadístico	45
Variación de las técnicas de análisis de datos	45
4. Evaluación de los resultados obtenidos	47
Utilización de los mismos resultados para validarlos	47
Explicación de los resultados a partir de la teoría del fenómeno	48

Fenómenos que presentan comportamiento nómico	49
Significación estadística y desviación estándar	49
2.3 ¿Qué podemos afirmar a partir de la aplicación de las estrategias epistemológicas? ...	50

Capítulo 3- Un desafío escéptico a la objetividad en las ciencias fácticas: el argumento del regreso del experimentador de Harry Collins

3.1 Introducción	53
3.2 La detección de radiación gravitatoria en 1970	55
3.3 El argumento del regreso del experimentador	57
3.4 Los presupuestos del argumento	61
3.5 Cuatro respuestas posibles al desafío escéptico	65

Capítulo 4- La respuesta histórico-naturalista de Allan Franklin

4.1 Introducción	67
4.2 Su interpretación del argumento	68
4.3 El análisis del caso de las ondas gravitatorias: las razones del rechazo	70
1. La evidencia se desvanece	71
2. La acumulación de observaciones en conflicto	74
3. La selección tendenciosa	76
4. La evaluación de los instrumentos	78
4.4 Conclusión	80

Capítulo 5- Una respuesta filosófica al argumento del regreso del experimentador

5.1 Introducción	83
5.2 Repetición, replicación, reproducción: algunas precisiones	84
5.3 La replicación de experimentos y el conocimiento tácito	87
5.4 Una respuesta al argumento en su versión epistemológica	91
5.5 Una respuesta al argumento en su versión ontológica	94

Conclusión	98
-------------------------	----

Bibliografía	101
---------------------------	-----

AGRADECIMIENTOS

Esta es la ocasión de agradecer y rendir homenaje a quienes contribuyeron, tanto a mi formación académica como a mi desarrollo personal, y es claro para mí e inevitable, que ambos procesos confluyan casi de manera necesaria. La lista sería demasiado extensa si a cada enseñanza hiciese corresponder un nombre, y pido sepan disculparme aquellos a quienes reconozco mi gratitud tan sólo tácitamente.

Quiero agradecer en primer lugar a Alejandro Cassini. Por su seriedad como docente e investigador, su compromiso, su entusiasmo, su generosidad y por guiarme no sólo en el marco de esta investigación, sino durante toda mi carrera. Por el valioso tiempo que -restado a sus proyectos personales- dedicó a mi formación.

Quiero agradecer también a todo el cuerpo docente del área de filosofía de la ciencia, a Gregorio Klimovsky, Félix Schuster, Cristina González y especialmente a Verónica Tozzi por su apoyo y su estímulo, así como a Olimpia Lombardi y José Diez por sus valiosos comentarios.

Realicé esta investigación en el marco de la beca Raúl Orayen, por ello, quiero agradecer a la Profesora Gladys Palau a quien debo la oportunidad de dedicar un año exclusivamente a la actividad académica, así como a René Girardi quien estuvo pendiente de cada detalle relacionado con la beca.

A mis amigos, quienes han padecido mi incertidumbre, mis titubeos y exaltos, sin cuestionamientos y sin reproches: A Juliana Udi, Martín Narvaja, Ignacio Mastroleo, Daniela Faggiano y Jackie Eliano.

Agradezco a Juan Ignacio, mi hermano, por enseñarme que es posible permanecer unidos en los momentos de crisis y compartir la risa en los momentos de calma.

Dedico este trabajo a la memoria de mi padre, de quien atesoro la sonrisa y sus cálidas palabras, su sabiduría, su humildad y la reivindicación constante de la curiosidad y del asombro. Y a mi madre en quien admiro su templanza y su esfuerzo denodado, quien es para mí, un apoyo incondicional y un permanente estímulo intelectual. Pero por sobre todo les agradezco a ambos el privilegio de haber crecido rodeada de tanto amor, confianza y respeto.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los estudios acerca de la ciencia, tanto por parte de filósofos, como de sociólogos e historiadores, comenzaron a manifestar un interés creciente por la experimentación y sus problemas epistemológicos. Desde comienzos de la década de 1980 se han publicado no sólo numerosos libros y compilaciones destinados al tema, sino también cantidades de artículos en los que es posible rastrear diversas discusiones sobre ciertos problemas que subyacen a la práctica experimental en las ciencias naturales.

Podemos destacar algunas de las obras clave en el área, por ejemplo, el trabajo que señaló la agenda de la filosofía de la experimentación fue el libro de Hacking (1983). Inmediatamente después, aparecieron las obras de Ackermann (1985) y Franklin (1986), entre las escritas por filósofos, y las de Collins (1985) y Galison (1987), entre las escritas por sociólogos de la ciencia. Ackermann (1989) llamó “nuevo experimentalismo” a la corriente representada por estos autores tan heterogéneos entre sí, pero el rótulo –por razones obvias- ya resulta anticuado, y por ello no lo emplearemos aquí. Desde la década de 1990 los estudios acerca de la experimentación se multiplicaron y podemos señalar, entre otros, la extensa secuencia de libros de Franklin (1990, 1999, 2002a, 2004, 2005), la obra, de enfoque muy diferente, de Mayo (1996), y los libros enciclopédicos de Galison (1997) y Collins (2004), además de las antologías de Gooding, Pinch y Schaffer (1989), Koertge (1998), Radder (2003), entre otras. He tenido en cuenta los aportes de todas estas obras en la elaboración del presente trabajo.

Aquí pues, intentaremos contribuir a la polémica respecto de la objetividad de los resultados experimentales. Para ello, comenzaremos brindando un panorama general sobre la experimentación como objeto de estudio filosófico en el contexto de la concepción heredada, proseguiremos caracterizando los diversos problemas de la experimentación que son objeto de debate en la actualidad para detenernos finalmente en la reflexión respecto del valor cognoscitivo de los productos del trabajo experimental. A lo largo de este trabajo nos preguntaremos: ¿Por qué razones un resultado experimental es confiable? ¿Qué condiciones deben cumplirse para que un resultado experimental adquiriera el rótulo de conocimiento científico? ¿Qué función –si alguna- desempeñan los factores sociales en la constitución de la evidencia empírica?

Para poder responder estas preguntas, tomaremos como punto de partida las investigaciones de varios estudiosos del tema que han dado como resultado lo que Allan Franklin (1989) denominó *epistemología del experimento*, esto es, un conjunto de estrategias que permiten argumentar a favor de la corrección de los resultados experimentales. Presentaremos luego, el desafío a la objetividad de los experimentos que Harry Collins, sociólogo de la ciencia, desarrolla tras sus estudios de campo en la investigación de la existencia de radiación gravitatoria. Collins (1985) pone de manifiesto una forma de circularidad presente en la práctica experimental que denomina *el argumento del regreso del experimentador*. Según entiende, los experimentos están signados por un conjunto de saberes implícitos e intransferibles que imposibilitan la replicación de los experimentos sometidos a examen, y, con ello, impiden la reproducción de los resultados obtenidos poniendo en jaque la norma de repetibilidad, condición de posibilidad de la contrastación intersubjetiva de enunciados básicos. Dadas las limitaciones anteriores, el quiebre en este regreso al infinito se obtendría -afirma Collins- apelando a factores extrínsecos al ámbito científico, por ejemplo factores de tipo económico o social.

Buscaremos entonces, estudiar detalladamente la tesis de este sociólogo, y contribuir a la discusión, criticando sus argumentos desde el punto de vista específico de la filosofía de la ciencia. Tras el análisis de sus afirmaciones buscaremos comprender qué significa repetir un experimento y de qué formas de reproducción del conocimiento empírico puede valerse la comunidad científica en el momento de sostener o rechazar un resultado experimental.

CAPÍTULO 1

“La ciencia tiene por fin conocer y dominar la naturaleza. En primer lugar, en los fenómenos en que ésta se impone directamente a nuestra conciencia, luego en los tesoros sin límites que en ella duermen y debemos despertar.”

Jean Perrin.

1.1 El olvido del experimento en la filosofía clásica de la ciencia

Aún cuando se aceptara de modo unánime el rápido desarrollo de la ciencia moderna que propiciara el método experimental, la filosofía de la ciencia tradicional, aceptó su valor sin considerar relevante su tematización filosófica. Dando por sentado el valor del experimento, la atención se centró fundamentalmente en el estudio de las teorías científicas y del cambio teórico.¹

En éste énfasis en la teoría como unidad de análisis, la experimentación no ha sido investigada de modo suficiente por la filosofía de la ciencia clásica. La concepción heredada ha destacado su papel en la contrastación de teorías y en el descubrimiento de nuevos dominios de investigación. Si bien para la tradición positivista, los fundamentos del conocimiento científico se basan en la observación, no se ha insistido en los modos mediante los cuales la base empírica se constituye, así como tampoco se ha profundizado en las complejas relaciones entre instrumentos, experimentos, datos y teorías científicas.

Hacking (1992) indica que el descuido del estudio de la función del experimento en el falsacionismo y la atribución de un único rol como contrastación de hipótesis o de teorías científicas, puede atribuirse al surgimiento de la teoría general de la relatividad como una teoría que inicialmente careciera de apoyo empírico, en cuyo caso, la experimentación tendría ciertamente como objetivo principal la búsqueda de corroboración de las predicciones de dicha teoría. Por otra parte, frente a la inestabilidad del conocimiento científico, la reacción inmediata parecería consistir en proponer modelos que, partiendo de la situación de crisis intenten explicar el cambio en la ciencia. El intento de explicación de Hacking sin embargo, no tiene en cuenta que, tanto la teoría general de la relatividad como

¹ Podemos, desde luego, mencionar algunas excepciones, por ejemplo Mach (1905), quien dedica un capítulo completo a las fuentes de error en la experimentación.

la mecánica cuántica, sin duda influenciaron también a los positivistas lógicos, cuya forma de abordaje de la epistemología fue radicalmente diferente.

Hemos de aclarar que, en este estudio, el acento no recaerá en establecer los factores externos que inhibieron el tratamiento filosófico de la experimentación. Ello constituiría una valiosa línea de investigación sólo si se abordase un estudio histórico-social de la epistemología. Nos limitaremos pues, a tomar tal desatención como un hecho, sin preguntarnos qué razones la motivaron.

El presente capítulo pretende dar cuenta entonces, de la posibilidad de una tematización filosófica de la práctica experimental, intentaremos mostrar los vínculos entre teorías científicas y experimentos tal como fueron formuladas por algunos representantes paradigmáticos de las corrientes epistemológicas heredadas, para detenernos luego en concepciones contemporáneas, brindando un panorama general del modo de concebir las relaciones entre teorías y experimentos en la filosofía de la ciencia, con lo que, partiendo de la epistemología clásica y llegando a los desarrollos actuales, se señalará el cambio en la concepción de las relaciones entre teorías científicas y experimentos. Bosquejaremos finalmente, un esquemático desarrollo de los problemas que consideramos necesario estudiar si es que hemos de aceptar el lugar fundamental que ocupa el experimento en las ciencias naturales y si hemos de comprender en qué estriba la aceptación o rechazo de un resultado experimental. Es preciso adelantar que tal panorama no será en modo alguno exhaustivo, teniendo por objeto sólo sugerir alguna de las virtudes de la reflexión sobre la práctica experimental, y su repercusión en los problemas clásicos de la epistemología. Según lo anterior, la presente investigación resulta programática, pretendiendo indicar una línea de investigación más que un desarrollo en extenso de cada uno de los tópicos presentados, algo que excedería en mucho el fin de este capítulo.

1.2 Las funciones del experimento según la concepción heredada

El positivismo lógico ha entendido a la experimentación como distinta cualitativamente de las observaciones, aceptando la distinción clásica. El criterio utilizado para efectuar tal distinción radica en el rol pasivo que el investigador asume en la observación del mundo

natural y el rol activo que por el contrario se pone de manifiesto en la experimentación. Afirma Carnap en una obra tardía:

Una de las grandes características de la ciencia moderna, en comparación con la ciencia de períodos anteriores, es su énfasis en lo que se llama el método experimental. Como hemos visto, todo conocimiento empírico, se basa finalmente en observaciones, pero estas pueden ser realizadas de dos maneras esencialmente diferentes. En la manera no-experimental, desempeñamos un papel pasivo. Simplemente contemplamos las estrellas o algunas flores, observamos semejanzas y diferencias, y tratamos de descubrir regularidades que puedan ser expresadas en forma de leyes. En la manera experimental, asumimos un papel activo. En lugar de ser espectadores, *hacemos* algo que producirá mejores resultados observacionales que los que obteníamos contemplando simplemente la naturaleza. En lugar de esperar a que la naturaleza nos ofrezca situaciones para observarlas, tratamos de crear tales situaciones, en resumen, hacemos experimentos. (Carnap, 1966, p. 42).

Los resultados experimentales se concibieron como la sólida base a partir de la cual se construía el conocimiento científico. Las cláusulas protocolares persistían frente al cambio teórico confiriendo unidad y estabilidad. Toda teoría propuesta debía dar cuenta del conocimiento observacional acumulado.

Si para el empirismo lógico, el punto de partida de toda investigación consiste en la observación o en la experimentación -según el grado de intervención que pueda atribuirse al científico al obtener los datos- resulta claro que, tales resultados son independientes de las teorías que permiten formular. Frente al descubrimiento de un nuevo fenómeno, en conflicto con las leyes establecidas, es la teoría la que debe ser modificada, para dar paso a la constitución de una nueva propuesta que permita explicar el fenómeno problemático. La base empírica es acumulativa y persiste frente al cambio teórico. Teniendo en cuenta que existe una reducción de los resultados experimentales a los datos sensoriales fijados en oraciones protocolares, parece no ser necesario problematizar la fuente de las mismas. Más aún, en tanto los compromisos ontológicos no exceden aquello que puede ser adquirido por medio de los sentidos, resulta problemático ahondar en la experimentación, que fundamentalmente se orienta al montaje de sistemas causales.

Tal como afirma Galison (cf.1997, p.790) en los representantes de la tradición antipositivista, se produce una inversión de la relación entre teoría y experiencia. Si para el empirismo lógico, la fundamentación de las ciencias estaba dada por la persistencia de la base empírica; para la corriente antipositivista, la teoría dota de significación a la experiencia que a ella se subordina. No es posible la autonomía de la experimentación porque no es posible obtener un resultado en ausencia de una teoría o de un paradigma.

En el caso de Popper, claramente relega la función de la experimentación a un papel subordinado, el experimento es pensado como un medio para la corroboración o refutación de una teoría, el teórico indica al experimentador qué pretende, deja sentadas las preguntas que busca responder, y el experimentador satisface sus demandas. Resulta particularmente esclarecedor el siguiente pasaje tomado de *The Logic of scientific discovery*:

El científico teórico propone ciertas cuestiones determinadas al experimentador, y este último, con sus experimentos, trata de dar una respuesta decisiva a ellas, pero no a otras cuestiones: hace cuanto puede por eliminar estas últimas (...) Pero sería una equivocación creer que el experimentador procede de este modo con el objeto de facilitar el trabajo del teórico, o quizá para proporcionar a este último una base en que apoyar generalizaciones inductivas. Por el contrario, *el teórico tiene que haber realizado mucho antes su tarea*, o, al menos, la parte más importante de ella: la de formular su pregunta lo más netamente posible; por tanto *es él quien indica el camino al experimentador*. Pero incluso éste no está dedicado la mayoría de las veces a hacer observaciones exactas, pues también su tarea es, en gran medida, de tipo teórico: *la teoría campea en el trabajo experimental*, desde que se establecen los planes iniciales hasta que se dan los últimos toques en el laboratorio. (Popper, 1959, § 30, p. 89; subrayado nuestro).

A partir de lo anterior, podemos obtener tres conclusiones:

- 1- Existe una relación de subordinación por parte de la experimentación a la teoría.
- 2- La función del experimento está limitada a la contrastación de hipótesis teóricas propuestas de antemano.

3- La dependencia teórica del experimento ya sea en el desarrollo de la experimentación, esto es, en lo que concierne al diseño experimental, así como en la interpretación de sus resultados. En una nota a pie de página, Popper agrega:

Tengo ahora la impresión de que debería haber hecho resaltar en este punto una tesis que puede encontrarse en otros lugares de este libro: la de que las observaciones – y más todavía, los enunciados de observaciones y los de resultados experimentales- son siempre *interpretaciones* de los hechos observados, es decir, son *interpretaciones a la luz de teorías*. (Popper, 1959, p. 90; subrayado suyo).

Si los resultados a los que arriba un determinado experimento, dependen en sentido fuerte de las teorías puestas a prueba, estos serán modificados con el cambio teórico. Entendemos sin embargo, que en tal posición existe una limitación ya que la misma no permite explicar la existencia de parámetros, constantes y datos que son utilizados ya sea en diferentes disciplinas científicas, así como también por teorías rivales. Para poner un ejemplo, pensemos en el caso de las diferentes teorías cosmológicas actuales que aún difiriendo tanto en la cantidad de materia que existe en el universo, como en las clases de materia (esto es bariónica u oscura) siguen utilizando en sus investigaciones la constante de Hubble y los valores medidos del fondo cósmico de microondas en función de la escala temporal cosmológica.

Por otra parte, tomando a Kuhn como representante de la tradición historicista, es sólo en ausencia de un paradigma que puede elegirse libremente las observaciones y experimentos a realizar, sin embargo, al no existir pautas de búsqueda definidas ni criterios que permitan establecer qué cuenta como una explicación adecuada, cada grupo de científicos explora y explica sólo aquellos fenómenos que señala la teoría que guía las investigaciones (piénsese en la teoría corpuscular y ondulatoria de la luz. Si bien ambas proveían una explicación de las leyes de reflexión y refracción, luego estudiaban diferentes fenómenos) Una vez constituido el paradigma, es éste el que define los experimentos a realizar y el modo en que deben ser llevados a cabo, esto es, indica tanto la serie de problemas relevantes a ser estudiados, la clase de posibles soluciones y la metodología a emplear. En el período de ciencia normal, la función primordial de la experimentación no consiste ya en la contrastación de teorías científicas o el descubrimiento de nuevos

dominios, por el contrario, según Kuhn, es fundamental el “trabajo de limpieza” en el que se intenta lograr un ajuste cada vez más preciso entre los hechos observados y las predicciones del paradigma. En sus palabras:

Examinada de cerca, tanto históricamente como en el laboratorio contemporáneo, esa empresa parece ser un intento de obligar a la naturaleza a que encaje dentro de los límites preestablecidos y relativamente inflexibles que proporciona el paradigma. Ninguna parte del objetivo de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos; en realidad, a los fenómenos que no encajarían dentro de los límites mencionados frecuentemente ni siquiera se los ve. Tampoco tienden los científicos normalmente a descubrir nuevas teorías y a menudo se muestran intolerantes con las propuestas por otros. (Kuhn, 1970, pp. 52-53).

De modo más detallado, según la tradición historicista, la experimentación durante el período de ciencia normal cumpliría cinco objetivos principales:

- 1- La determinación con mayor precisión de hechos previamente conocidos.
- 2- La búsqueda de fenómenos que aún no han sido detectados, pero que son esperados a partir de las predicciones del paradigma.
- 3- La articulación del paradigma por medio de la determinación de constantes físicas y parámetros.
- 4- El establecimiento de leyes cuantitativas. Sin embargo, el autor señala que para éste fin, no es necesaria la experimentación ya que en muchos casos las leyes se establecen antes de que se desarrolle diseño experimental requerido. (cf. 1970, p. 60).
- 5- La exploración de aspectos cualitativos: se buscaría eliminar las distintas posibilidades que el paradigma de manera ambigua, permite.

Kuhn muestra cómo tanto las teorías, instrumentos y experimentos diseñados, están en una relación de ajuste recíproco. Es la teoría la que permite la constitución de un instrumento de medición y el montaje de un experimento. Es la teoría la que determina de antemano que resultado ha de esperarse, y cómo ha de ser éste buscado. Pero una teoría también puede sufrir modificaciones de ser necesario, es decir, frente a la aparición de anomalías. El trabajo experimental varía sustantivamente en tiempos de crisis, lapso

durante el cual los esfuerzos se destinan a nuevos descubrimientos y la confirmación es entendida como auxiliar en la elección de teorías científicas (cf. Kuhn, 1977, p. 234) sin embargo, no es este el caso en ciencia normal. La oposición con las perspectivas filosóficas abordadas con anterioridad es clara. Kuhn indica que en las diferentes disciplinas, las funciones tradicionales de la experimentación, aparecen sólo en momentos de crisis.

A partir de este breve recorrido histórico, pretendimos mostrar el mínimo lugar que ocupó la experimentación como objeto de estudio en la investigación filosófica clásica. Al ser tenida en cuenta, fue destacado tan sólo su valor como herramienta confirmatoria o corroboratoria. Kuhn por su parte minimiza éste valor, y destaca como hemos visto, la búsqueda de precisión aceptando inclusive la posibilidad de experimentos pre-teóricos. Sin embargo, tampoco brinda un tratamiento riguroso del tema. A continuación intentaremos dar cuenta de una nueva línea de investigación epistemológica que, reivindicando el valor de la experimentación, ha buscado comprender desde el experimento, los problemas que aborda la epistemología. Pero para ello creemos que es preciso definir cuál es nuestro objeto de estudio.

1.3 ¿Qué es un experimento?

En *Introducción al Estudio de la Medicina Experimental*, Claude Bernard brinda un detalle sobre el método experimental proponiendo una definición que puede ser útil como punto de partida en nuestra investigación. Dice Bernard:

¿Dónde reside, pues, se preguntará, la distinción entre el observador y el experimentador? Hela aquí: se da el nombre de observador a quien aplica los procedimientos de investigación simple o compleja al estudio de los fenómenos que él no modifica, los que recoge, en consecuencia, tal como la naturaleza se los ofrece. Se da el nombre de experimentador a quien emplea los procedimientos de investigación simple o compleja para hacer variar o modificar, con un objetivo cualquiera, los fenómenos naturales y hacerlos aparecer en circunstancias o en condiciones en las que la naturaleza no se los presentaba. (Bernard, 1865, p. 26).

Las ideas expresadas por Bernard señalan una diferenciación clara entre experimentos y observaciones según las condiciones en las que la investigación se realiza. Mientras que la observación no supone ningún tipo de acción sobre el objeto de estudio, la experimentación, supone una acción dirigida, volviendo al epígrafe con el que comenzamos el capítulo, la experimentación representaría el intento por “despertar a la naturaleza”.

Si tenemos en cuenta los aspectos metodológicos involucrados en el diseño experimental, veremos que éste, entre otras cuestiones, implica²:

- 1- El aislamiento del sistema a estudiar.
- 2- La elección de instrumentos apropiados para la investigación así como los materiales a utilizar.
- 3- La determinación de las variables relevantes en el sistema que se investigará.
- 4- La determinación de variables dependientes e independientes del sistema.
- 5- El control de ciertos parámetros que permanecerán constantes en el transcurso del experimento.
- 6- La creación de condiciones que favorezcan la aparición de un fenómeno que en condiciones normales no tiene lugar.
- 7- La modificación controlada de ciertas variables.
- 8- En algunos casos, la comparación con muestras testigo.
- 9- La estimación de márgenes de error.
- 10- El análisis estadístico de los datos obtenidos.

Actualmente, y a diferencia de lo propuesto en los planteos clásicos, tiende a aceptarse que la distinción entre observaciones y experimentos es sólo una distinción de grado, ya que por lo general las observaciones en muchas disciplinas científicas también involucran alguna forma de control, manipulación y modificación del objeto en estudio.³ Aún en las técnicas más elementales empleadas para la observación de los componentes celulares, así como de tejidos, se requieren tratamientos específicos, que involucran claramente la “actividad intencional”⁴ del observador y una serie de perturbaciones (tratamientos histológicos, procesamiento mecánico de muestras, separación de compuestos) que no

² Entre los muchos estudios acerca del diseño y la metodología experimental puede consultarse Baird (1988).

³ Para un estudio detallado, véase Cassini, 2000, Cp. 10.

⁴ Bernard, *op. cit.*, p. 19.

permiten ya entender la observación tan sólo como la recepción pasiva de contenidos perceptuales.

Pero no sólo se ha modificado la distinción entre observaciones y experimentos, sino que en el decurso histórico de las ciencias naturales, el concepto mismo de experimento así como el de experimentador han cambiado. Galison, en *Image and Logic*, relata cómo, a partir de los desarrollos tecnológicos vigentes y la posibilidad del almacenamiento informatizado de datos, la función del experimentador puede reducirse a la interpretación de datos en cuya obtención no ha intervenido.

Existe un camino extenso, irregular y repleto de rupturas entre el tiempo en el que era impensable que un físico pudiera ser alguien más que quien construye equipos, diseña procedimientos, manipula experimentos, consigna resultados y los analiza, a un tiempo en el que fuera universalmente aceptado contar como un experimentador a quien permanece frente a una computadora separado por miles de millas del instrumento. (...) Estas modificaciones en la práctica contradicen la idea de que existe un único y unitario concepto de experimento. Experimento y experimentador están ligados, sus significados cambian conjuntamente. (Galison, 1997, p. 5).

Ya no se piensa entonces, en un sujeto aislado, encerrado en su laboratorio, interpellando a la naturaleza con matraces de cuello de cisne repletos de aire tomados a diferentes niveles del mar. El cambio aludido se ha producido en consonancia con desarrollos que exceden lo experimental, involucrando el mismo, relaciones entre el desarrollo teórico y el desarrollo en el diseño de equipos cada vez más sofisticados.

Así como la noción de experimento se ha modificado históricamente, tampoco es unívoca; existen diversos tipos de experimentos que pueden clasificarse según las funciones que cumplen y la relación que establecen con la experiencia. Los presentaremos de manera esquemática, aún cuando nuestra investigación estará principalmente dirigida a brindar una mayor comprensión de los experimentos exploratorios.

1. Experimentos exploratorios: tienen por objeto aumentar la información respecto de ciertos fenómenos, básicamente investigar ciertos sucesos en condiciones de laboratorio. La mayor parte de las investigaciones en física de partículas puede subsumirse en esta

categoría. Las investigaciones en las fronteras del conocimiento son ejemplos paradigmáticos de este tipo de experimentos.

2. Experimentos cruciales: los mismos se diferencian tan sólo del tipo anterior por su función, en tanto se pretenda dirimir entre dos o más teorías rivales. De todos modos queda abierta la posibilidad de entender un experimento crucial como tal, sólo en retrospectiva.

3. Experimentos mentales: en general se proponen frente a limitaciones tecnológicas que impiden el desarrollo de experimentos exploratorios, tienen por objeto evaluar la plausibilidad de ciertas hipótesis o teorías. En el terreno de la mecánica cuántica abundaron, siendo fundamentales los propuestos por Einstein, Podolsky y Rosen, así como también el célebre gato de Schrödinger, y el “amigo” de Wigner.⁵

4. Experimentos virtuales: basados en simulaciones realizadas con computadoras, los experimentos virtuales intentan entre otras cosas evaluar evoluciones a largo plazo, como por ejemplo, consecuencias de diversos modelos cosmológicos. Las simulaciones denominadas *de Monte Carlo* son un ejemplo⁶. En la cosmología, las simulaciones tienen un valor importante, permiten “contrastar” un modelo cosmológico y proponer nuevos parámetros. (tal es el caso de la energía oscura, un parámetro aceptado en la mayor parte de las teorías cosmológicas actuales que fue postulado para poder reproducir, en la simulación, el estado del universo tal como es observado actualmente). Frente a la imposibilidad de contrastación directa de los modelos de evolución cosmológica, las simulaciones hacen posible evaluar si dadas ciertas condiciones iniciales propuestas desde el ámbito teórico para una serie de parámetros, en conjunción con valores determinados observacionalmente para otros parámetros, permiten reproducir lo observado actualmente en los mapeos astronómicos.

Respecto de las últimas dos categorías, cabe preguntarse acerca del valor probatorio que puedan tener. Tiende a aceptarse que funcionan tan sólo como herramientas heurísticas. Algunos autores, sin embargo, han considerado por ejemplo, que las simulaciones son homomórficas con la realidad⁷. Pero dado que una de las limitaciones más importantes es el no poder contemplar aquellas variables que, desconocidas para el investigador, podrían

⁵ Para un estudio sobre el valor epistemológico de los experimentos mentales puede consultarse Hacking (1992 a)

⁶ Para ello sugiero un interesante desarrollo en Galison (1997) capítulo 8.

⁷ Véase Galison (1997) cp. 8.

tener relevancia, no se los considera elementos que por sí mismos y en ausencia de evidencias experimentales incidan de modo categórico en la aceptación de una teoría en el seno de la comunidad científica.

Si bien la noción de experimento, por su misma versatilidad y las diferentes formas que puede asumir en las distintas disciplinas no permite una caracterización aplicable en general a todas las ciencias empíricas, Hacking (1992) ha brindado al respecto, una clasificación, en la que presenta una serie de elementos que podrían rastrearse en la actividad experimental.⁸

Ideas: en esta categoría se incluyen todos los componentes intelectuales del experimento. Involucra el bagaje teórico del que dispone el experimentador al momento de proyectar su investigación, los objetivos del experimento y las hipótesis que serán contrastadas, así como modelos de diseño experimental, del funcionamiento de los instrumentos utilizados y de los materiales que habrán de emplearse.

Materiales: conformado por el conjunto de objetos implicados en el experimento. Se refiere tanto al objeto investigado como a los elementos que se utilizan para su estudio.

Marcas: incluye esta categoría todo tipo de dato y las manipulaciones estadísticas de los mismos, incorporando entonces, tanto los datos obtenidos como su procesamiento matemático y la selección de aquellos que habrán de ser aceptados para su tratamiento estadístico.

Ahora bien, si hemos de dedicarnos a tematizar de modo filosófico la actividad experimental, hemos de definir en qué consistirá dicha tarea, por ello, brindaremos a continuación una serie de lineamientos generales para tal abordaje y propondremos algunas de las relaciones que pueden establecerse entre cada uno de los tópicos, con problemas clásicos de la epistemología.

1.4 ¿De qué se ocupa la filosofía de la experimentación?

En lo que sigue, delinearemos los temas que según entendemos tenerse en cuenta en un estudio filosófico de la experimentación. Si bien no serán desarrollados cada uno de los problemas, consideramos necesario brindar al menos un panorama que permita evaluar la

⁸ La clasificación sólo tiene en cuenta los experimentos clase I y clase II.

viabilidad de la propuesta y los posibles aportes que, a partir de dicha elucidación pueden brindarse a la epistemología. Un estudio filosófico de la experimentación debe tomar en consideración:

1- Las funciones de la experimentación en la práctica científica, esto es, a partir del estudio de las actividades científicas, debe establecerse cuales son los papeles que desempeña el experimento y no ya, qué papel creemos debe desempeñar. Es decir, debe procurar un enfoque descriptivista de las ciencias naturales.

2- La relación que se establece entre teorías, experimentos, instrumentos y resultados experimentales, lo que nos llevará a reflexionar respecto del modo en que el cambio en cualquiera de estos estratos repercute en los restantes, permitiendo con ello evaluar en qué consiste el cambio científico, así como permitiría reflexionar respecto del progreso en las ciencias naturales.⁹

3- La validación de los resultados experimentales, o dicho de otro modo, en qué consiste la objetividad de un resultado experimental, lo que nos lleva a investigar si la aceptación o el rechazo de resultados experimentales se realiza a partir de razones internas o externas. ¿Existen criterios de índole epistemológica que deban satisfacerse, para que un resultado experimental sea aceptado por la comunidad científica? ¿Qué importancia tienen los factores sociales en la aceptación de tales resultados? Esto nos permitirá abordar las temáticas de objetividad y racionalidad en la ciencia.

4- Una posición respecto de la disputa entre realismo y anti-realismo, es decir, ¿Pueden proponerse a partir del abordaje filosófico de la experimentación argumentos plausibles en favor de la aceptación de un realismo científico? Y ¿En qué consistiría dicho realismo?

A partir de la década de 1980, un grupo de epistemólogos, sociólogos y antropólogos de la ciencia comenzaron a reivindicar el estudio detallado de la experimentación. Ya sea para

⁹ Sobre este punto, sugiero el desarrollo de Ackermann (1985), quien estableciendo las relaciones entre instrumentos, datos y teorías científicas, elabora una concepción del progreso científico.

defender la objetividad y la racionalidad en la práctica científica (cf. Franklin, 1986, 1989, 2002), como en algunos casos para fundamentar posiciones relativistas (cf. Collins, 1985), han propiciado el desarrollo de un nuevo campo de estudio en la epistemología, vinculado con los roles que desempeña la experimentación en las ciencias naturales y con los problemas que surgen, en la constitución de sus resultados. Han asignado a la experimentación roles que exceden la puesta a prueba de una teoría.

Comenzando por los papeles que desempeña la experimentación en las ciencias naturales, destacan que el experimento no tiene como función principal la contrastación de hipótesis, oponiéndose así, al valor primordial que Popper le otorgara. Si bien es claro, que dicha función es de carácter fundamental en ciertas instancias de la práctica científica, es cierto también que muchos experimentos se realizan en un marco de vacío teórico, teniendo por objeto la investigación de fenómenos intrigantes, y asimismo, la creación de nuevos fenómenos (cf. Hacking, 1983, cp. 9). En éste sentido, existe una oposición a la comprensión antipositivista que postula que toda observación y todo resultado experimental es una interpretación a la luz de teorías vigentes. Podríamos aceptar entonces que si bien los resultados experimentales adquieren interpretación a partir de teorías, la existencia de experimentos pre-teóricos muestra al menos que la experimentación no está necesariamente subordinada a la teoría.

Si bien los objetivos de los estudios propuestos por los diversos representantes de la corriente son de diferente tenor, profundidad y precisión y los enfoques adoptados muestran una apreciable heterogeneidad, Deborah Mayo (1996) da cuenta de tres tesis a las que los nuevos experimentalistas adherirían:

- 1- El estudio de la práctica experimental permite brindar a la observación su rol como base objetiva. Esto es, aceptar la carga teórica de la observación no implica la pérdida de objetividad de la misma.¹⁰
- 2- Los experimentos poseen una vida propia. Tesis de la autonomía de la experimentación respecto de la teoría.

¹⁰ Para ello también resultan esclarecedores, aunque desde una perspectiva diferente, los trabajos de Shapere (1982), Brown (1987) y Kosso (1989).

3- Existen estrategias epistemológicas que permiten establecer la validez de los resultados experimentales, distinguiendo un artefacto producido por el instrumento de un efecto genuino.

1.4.1 Las funciones del experimento

Siguiendo a Hacking (1983) podemos distinguir una serie de funciones que cumple la experimentación en ciencias naturales:

- 1- La contrastación de teorías: El experimento de Michelson-Morley respecto de la existencia del éter luminífero.
- 2- La determinación de parámetros y constantes: Ejemplos de los mismos pueden tomarse de la cosmología contemporánea, la constante de Hubble que indica la velocidad de alejamiento de las galaxias, es decir la expansión del universo. La velocidad de la luz, la constante de gravitación universal, el número de Avogadro, la carga eléctrica mínima, etc.
- 3- La búsqueda de mayor precisión en los valores de parámetros y constantes mediante el desarrollo de nuevos métodos de medición.
- 4- El establecimiento de generalizaciones de bajo nivel, denominadas también hipótesis tópicas. Ley de Boyle, leyes de Snell, ley de Gay-Lussac, etc.
- 5- La exploración de nuevos dominios y fenómenos: El movimiento browniano, la búsqueda de ondas de gravitación.
- 6- La creación de nuevos fenómenos: El efecto fotoeléctrico, el láser.
- 7- El perfeccionamiento de tecnologías vigentes.

Teniendo en cuenta los ejemplos anteriores, comprobamos que la experimentación no está necesariamente limitada a la contrastación de teorías científicas, siendo ésta sólo una más en un conjunto de funciones. A partir de las múltiples tareas que parecen cumplir los experimentos, se han sostenido diversas tesis respecto de la autonomía de la experimentación. Evaluaremos a continuación, en qué consiste según diferentes autores, tal autonomía.

1.4.2 La autonomía de la experimentación

En *The Estructure of Science*, Nagel, sostuvo la tesis de la autonomía de las leyes experimentales respecto de las teorías científicas. En dicha obra, instituyó el slogan que Ian Hacking revivió posteriormente en *Representing and Intervening*. Nagel advierte que las generalizaciones empíricas de bajo nivel, así como parámetros y constantes determinadas, resisten el cambio teórico, o bien son utilizadas por teorías rivales. En sus palabras:

Aunque una ley experimental sea explicada por una teoría dada y quede incorporada, de este modo, al armazón de ideas de esta última, la ley continúa teniendo dos características. Conserva un significado que puede ser formulado independientemente de la teoría; y se basa en elementos de juicio observacionales que, eventualmente, permitirán a la ley sobrevivir al abandono de la teoría. (...) Estos hechos indican que *una ley experimental tiene una vida propia*, por decir así, que no depende de la vida de ninguna teoría particular que pueda explicarla. (Nagel, 1961, pp. 90-91; subrayado nuestro).

La idea que Nagel intentaba destacar en éste párrafo, es diferente a la que lleva a Hacking o incluso a Galison a recuperar el slogan. Mientras que Nagel destaca el aspecto fundacional de la base observacional y su conexión por medio de principios puente con la zona teórica, Hacking pretende indicar que las funciones del experimento exceden la contrastación de teorías y sostiene la posibilidad de investigaciones que no necesariamente resulten guiadas por lineamientos teóricos.

Por otra parte, en la investigación que lleva a cabo Galison (cf. Galison, 1997), dicha autonomía incorpora un componente sociológico, ya que permite poner de manifiesto, la presencia de tres sub-culturas diferentes, independientes, cuyos aprendizajes divergen, cuyas publicaciones son específicamente dirigidas a cada una de las *castas* en cuestión, cuyos modos de argumentar son peculiares, y cuyo cuerpo de conocimiento les es característico. Los teóricos, ingenieros y experimentadores establecen un contacto esporádico y el conflicto en alguno los grupos mentados no tiene repercusiones inmediatas en las restantes áreas.¹¹ Con ello vemos que, dicho slogan, es compatible con una serie

¹¹ Galison (1997), p. 8

supuestos, que en la misma corriente experimentalista no serían necesariamente compartidos, ni conducirían a una posición coincidente respecto de la práctica científica.

Es interesante notar -y tendremos la oportunidad de volver sobre este punto más adelante- que la tesis de la autonomía de la experimentación en el sentido en que Hacking la defiende, es una tesis de carácter existencial, es decir: postula sólo que existen experimentos que han sido producto de la mera curiosidad del investigador, no siendo guiado por inquietudes o problemas teóricos¹². Con ello, esta tesis tiene por fin indicar que la experimentación no está necesariamente subordinada a la contrastación de teorías científicas. Veremos, más adelante ciertas consecuencias problemáticas de defender a ultranza la *vida propia* del experimento.

1.4.3 Relaciones entre teorías, datos e instrumentos

Si como afirma Galison (1997, p.781 y ss.), las tradiciones positivistas y antipositivistas fueron reduccionistas en el sentido de supeditar la teoría al experimento o bien el experimento a la teoría, nuevamente se plantea la necesidad de evaluar qué dinámica puede establecerse entre tales pilares de la práctica científica. En ello estriba el intento de Ackermann (1985), Hacking (1992) y Galison (1997).

Ackermann propone una aproximación dialéctica al problema destacando que los intentos de caracterizar la constitución del conocimiento científico que elaboraron tanto empiristas como racionalistas constituyen “verdades parciales” pero no llegan a dar cuenta más que de ciertos episodios puntuales en la historia de la ciencia, con lo que la propuesta de una metodología propia de la ciencia es claramente refutada por acontecimientos no subsumibles en dichos modelos.

Según su estudio, los instrumentos intermedian la relación entre las teorías y la observación, por medio del establecimiento de dominios de datos a los que las teorías se adaptan. El instrumental utilizado en las diferentes disciplinas es según su criterio, la fuente de objetividad en la investigación científica, permitiendo crear una independencia entre la teoría y los hechos. En tanto los instrumentos presuponen conocimiento teórico que no está

¹² El ejemplo preferido de Ian Hacking es el caso de Humphry Davy quien descubrió que las algas al ser expuestas a la luz solar generaban como residuo metabólico oxígeno. Este proceso se conoce actualmente como *fotosíntesis*.

directamente relacionado con aquello que se intenta investigar, esto es la carga teórica involucrada es exclusivamente instrumental, las observaciones pueden considerarse neutrales respecto de las teorías. Cabe destacar que los instrumentos a los que alude Ackermann son neutrales porque pertenecen a un dominio de datos fijados, a conocimiento que está fuera de discusión y que es aceptado por la comunidad científica.

Los instrumentos permitirían que ciertos datos obtengan legitimación como hechos científicos, pero, una vez lograda tal legitimación, el instrumento queda relegado a un segundo plano. Los datos objetivados guían entonces el desarrollo de la teoría que busca ajustarse en mayor grado con estos resultados. Y finalmente, un cambio en la teoría o en los datos, repercutirá en una modificación ya sea en la interpretación de los resultados o bien en un ajuste teórico.

En ciertos momentos del decurso científico, teorías, datos e instrumentos, logran una consonancia que permite a los científicos construir sobre desarrollos previos realizando ajustes más precisos entre datos y teorías y permitiendo un refinamiento de los instrumentos. En esas instancias, tanto las investigaciones teóricas como las experimentales avanzan de manera independiente. Sin embargo, el surgimiento de un nuevo instrumento o de una observación que sugiera un nuevo dominio de datos, provocará el contacto entre ambas esferas, esporádicamente independientes; la experimentación habrá conducido a un ajuste teórico o bien a una nueva teoría. En otros casos, la propuesta de una nueva hipótesis, requerirá de contrastación experimental. Ackermann indica que existe una evolución conjunta de los elementos antes mencionados. Y este desarrollo coincide con la propuesta Kunhiana durante el período de ciencia normal.

Hacking (1992) concuerda con la descripción de Ackermann, indicando que los instrumentos evolucionan de la mano de teorías que interpretan los datos que los instrumentos producen y generando un dominio de datos estable. Respecto de las ciencias de laboratorio afirma:

Son auto-reivindicadoras en el sentido en que cada prueba de la teoría es una prueba contra el instrumento que ha evolucionado en conjunción con ella y en conjunción con un modo de análisis de datos. De manera converso, el criterio para el funcionamiento y para la corrección del análisis es precisamente el acuerdo con la teoría. (Hacking, 1992, p. 30).

Podríamos pensar que tal afirmación se aplica solamente a ciencias estables de laboratorio, y preguntarnos si acaso es lícita la transpolación a la frontera de investigación, por ejemplo. En los límites de la investigación científica, no siempre hay acuerdos respecto de los resultados a esperar, ni del análisis a utilizar, ni del funcionamiento del aparato y es un tema a discutir si el criterio del buen funcionamiento de un instrumento es su acuerdo con la teoría. En los próximos capítulos, abordaremos con detenimiento los complejos problemas que plantea el establecer un resultado experimental para quienes realizan investigación de frontera.

1.4.4 La objetividad y la validez de resultados experimentales

Uno de los problemas fundamentales que debe dar cuenta la filosofía de la experimentación reside en indicar las razones que permitan la aceptación de los resultados experimentales, o dicho de otro modo, el establecimiento de criterios que permitan distinguir un resultado correcto de un efecto creado ya sea por un aparato, por una situación experimental determinada o bien por un tratamiento estadístico inadecuado. Allan Franklin (1986, 1989, 2002a, 2002b), denominó a esta tarea como la constitución de una epistemología del experimento. Franklin expuso en sus obras, una serie de estrategias, que utilizadas habitualmente en la práctica científica, permitirían incrementar la confianza en los resultados obtenidos. Deborah Mayo, en *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, se dedica también al problema, distinguiéndose ambos por las líneas teóricas que sostienen. Mientras Franklin adhiere a una interpretación bayesiana de la estadística, Mayo sugiere que si hemos de ser descriptivistas, entonces la metodología a utilizar debe coincidir con las técnicas empleadas en la ciencia, esto es: la estadística clásica. Según Mayo:

La narrativa experimental, abunda en la aplicación de métodos estadísticos estándar, desarrollados por Fisher, Neyman y Pearson, entre otros. A pesar de afirmar un compromiso con las prácticas efectivas de la ciencia, no hay intentos por explicar dichas prácticas en los términos en que los científicos lo harían. De modo irónico, allí donde existe un intento de aplicar métodos estadísticos para construir una epistemología del experimento, los nuevos experimentalistas se detienen en las teorías

de la decisión y la inferencia. Un buen ejemplo es Allan Franklin, y su intento al modo bayesiano de procurar una filosofía del experimento. (Mayo, 1996, p. 68).

De modo que en el caso de Franklin, la estrategia propuesta consiste en proveer criterios que tengan como consecuencia un incremento en el grado de creencia en tales resultados, mientras que para Mayo, la modalidad a seguir consiste en evaluar los modos por los que el background de error puede ser minimizado.

El análisis de las estrategias propuestas por dichos autores será pospuesto para el próximo capítulo, aquí nos circunscribiremos a señalar brevemente la razón por la que resulta necesario una investigación de tales criterios.

Desde el análisis sociológico de la ciencia, numerosos autores¹³ se han encargado de sugerir que la práctica científica está gobernada por elementos sociales, políticos y económicos, que no sólo condicionarían los posibles modos de conducir una investigación, sino más aún, han propuesto que la misma validación de los resultados obtenidos, es producto de negociaciones, intereses, y cuestiones de prestigio de quienes realizan las investigaciones. Según estos intelectuales, los criterios racionales nunca son condición suficiente para el establecimiento de los resultados. Por el contrario, un resultado se establece a partir de factores externos a la práctica o dicho de otro modo:

Un argumento cuasi-filosófico muestra que ningún conjunto de resultados experimentales puede mantener su poder a la luz de reinterpretaciones de críticos comprometidos. O, para señalarlo de modo positivo, los datos experimentales mantienen su potencia bajo estas circunstancias solo cuando no hay tales críticos. (Collins and Pinch, 1993, p. 176).

El argumento *cuasi-filosófico* al que se refieren los autores es el argumento del regreso del experimentador, que siendo sugerido a partir del análisis de casos claramente problemáticos, pretende ser luego aplicado a la ciencia normal. Baste pues, a modo de introducción al problema, con lo dicho hasta ahora. Ya en las próximas páginas tendremos oportunidad de evaluar en extenso si ciertamente hemos de aceptar que:

En la fusión en frío encontramos la ciencia normal. (Idem, p. 77)

¹³ En especial Collins (1985, 1993, 2000, 2004). Aunque también comparten esta línea de pensamiento Latour y Woolgar, (1979), entre otros sociólogos y etnometodólogos de la práctica científica contemporáneos.

CAPÍTULO 2

**“Al dar el paso con el que
conquistó para mí un mundo
exterior, me expongo al
peligro del error”**

Gottlob Frege.

La Objetividad en la Práctica Experimental

En el capítulo anterior delineamos algunos de los problemas con los que debe lidiar todo aquel que se acerque en vena filosófica, al estudio de la experimentación en las ciencias naturales. Uno de los temas en cuestión residía en reflexionar sobre la posibilidad de objetividad de los resultados experimentales. Con el fin de profundizar en este tema, el presente capítulo tiene por objeto determinar las estrategias metodológicas que permitirían defender esta objetividad. Comenzaremos destacando la importancia de la discusión en el contexto de la epistemología y su relación con los estudios sociales de la ciencia, presentando dos tesis que desafían la objetividad en las ciencias empíricas, las cuales serán analizadas y evaluadas en el tercer capítulo de esta tesis. Nos dedicaremos luego al estudio del conjunto de estrategias epistemológicas que permitirían argumentar en favor de la validez de los resultados que un experimento provee. A modo de conclusión, indicaremos los alcances y los límites de las estrategias presentadas.

2.1 El contexto del problema

Si bien los datos provistos por la labor experimental cumplen una función primordial en el desarrollo del conocimiento científico, poco se ha dicho respecto de las razones por las que estos datos son confiables. Buscando comprenderlas, las preguntas que guían este capítulo son las siguientes: ¿En qué radica la aceptación de un resultado experimental? ¿Porqué es posible considerarlo válido?

El problema de la objetividad, en el peculiar contexto que nos ocupa, es entendida como la distinción entre una señal efectivamente causada por un fenómeno y un artefacto producido ya sea por el instrumento utilizado o bien por la selección de datos y el

tratamiento estadístico de los mismos¹⁴. En general, podríamos hablar de objetividad si el resultado del experimento es una imagen, como es el caso de diferentes microscopios, o cámaras de niebla. Si el resultado, en cambio, es un valor numérico, producto de una medición, se hablará de validez del mismo. Sin embargo, en función de la brevedad, utilizaremos el término “validez” para referirnos en general a resultados experimentales.

Teniendo en cuenta los diversas instancias por las que un conjunto de mediciones de una magnitud física, es decir un conjunto de datos experimentales, finalizan constituyendo un resultado experimental, podríamos considerar que las causas por las que el mismo puede no ser válido son:

- El mal funcionamiento del instrumento utilizado.
- Un diseño experimental inapropiado.
- Un tratamiento estadístico inadecuado de los datos obtenidos.

Nos ocuparemos entonces de estrategias que permitirían rechazar en principio, la existencia de tales causas de error en el transcurso de la experimentación. Y evaluaremos finalmente, si la aplicación de las mismas es condición suficiente para la validez de los resultados experimentales.

El desarrollo de esta temática en el ámbito de la filosofía de la experimentación es ineludible y la importancia de esta discusión innegable. Resulta claro que toda posición epistemológica descriptivista, al aceptar en el acto de observación la mediación de instrumentos y al minimizar el valor de la distinción entre entidades teóricas y observacionales en sentido clásico, debe ofrecer buenas razones para justificar la creencia en la validez de los resultados obtenidos.

Pero no es sólo porque se asuman mayores compromisos epistemológicos que resulta necesario argumentar en favor de la discriminación entre una señal genuina y un artefacto en la experimentación. La reflexión también implica defender la racionalidad en la aceptación de los resultados experimentales, involucrando entonces en la discusión no sólo a quienes sostengan posiciones naturalistas en filosofía de la ciencia, sino a todo aquel que considere que es el experimento un justo árbitro de la adecuación de una teoría. De modo

¹⁴ Para un estudio histórico del cambio en los cánones de objetividad científica consúltese Danston y Galison (1992).

que, si podemos defender la idea de que los resultados experimentales son objetivos en el sentido antes mencionado, estaremos también brindando argumentos en defensa de la racionalidad en la constitución de la base empírica y de la aceptación o rechazo de teorías científicas.

Durante las últimas décadas, desde la sociología del conocimiento científico, se ha cuestionado el valor de la evidencia experimental con argumentos de diverso tenor. Los estudios sociales del conocimiento científico, particularmente aquellos trabajos etnometodológicos que tienen como objeto investigar la actividad experimental, entre los que podemos destacar la obra de Latour y Woolgar: *Laboratory Life*, así como *Changing Order* y *Gravity Shadow* de Harry Collins, han presentado una serie de desafíos a la objetividad y la racionalidad en la práctica experimental, que podrían resumirse en las siguientes tesis:

1- La replicación de experimentos en general no es posible y si lo fuera, no es una práctica usual. Collins (1992) sostiene dos argumentos en contra de la repetibilidad de los experimentos. El primero, de índole pragmática, se basa en que los experimentos pocas veces son repetidos. El segundo, de carácter filosófico, cuestiona la noción misma de replicabilidad de los experimentos. Si concedemos este punto a Collins nos vemos conducidos a afirmar que la práctica experimental no satisface las condiciones establecidas por Popper para la corroboración intersubjetiva de enunciados básicos. (Popper, 1959)

2- Teniendo en cuenta la tesis anterior, según entienden estos autores, se seguiría que la aceptación de los resultados de una investigación está basada en criterios externos: En la polémica que confronta posiciones internalistas y externalistas, los últimos señalan que la determinación de la existencia de un fenómeno, se relaciona directamente con la trayectoria de los investigadores, nacionalidad, habilidades discursivas e intereses creados respecto de los resultados. Un resultado experimental se establece como conocimiento aceptado si los investigadores reúnen un conjunto de características independientes de los aspectos internos de la investigación científica. Frente a la pregunta de Galison (1987): ¿Cómo finaliza un experimento? El externalista apelará a las capacidades persuasivas de los

científicos involucrados, a la retórica experimental y no a la solidez de los resultados obtenidos.

La presentación en detalle de los argumentos de Collins, así como la discusión de los mismos será pospuesta para el próximo capítulo y nos dedicaremos a continuación a explicitar las estrategias de las que la comunidad científica se vale al momento de decidir si un resultado puede ser aceptado.

2.2 Estrategias epistemológicas en la validación de resultados experimentales

El resto del capítulo será destinado al análisis de una serie de criterios epistemológicos que, empleados en la práctica científica (cf. Franklin, 2002b, p. 6) permitirían distinguir un artefacto de un efecto genuino. Son el resultado de investigaciones realizadas por Allan Franklin (1986, 1989, 2002 a, 2002b) Peter Galison (1987, 1997) Ronald Giere (1990) Ian Hacking (1983) y Deborah Mayo (1996). Si bien el comentario de los mismos sigue en líneas generales la formulación de Franklin (2002b) se indicarán las modificaciones respecto de su desarrollo. La presentación de tales estrategias, su comentario y su ilustración con casos históricos, tiene como principal objetivo mostrar que los criterios internos desempeñan un papel primordial en el establecimiento de la evidencia experimental.

Hemos distinguido los criterios según se empleen en el funcionamiento del instrumento, al diseño experimental, al análisis estadístico de los datos obtenidos, o bien a los resultados mismos, procurando así una clasificación que permite ordenar las diversas estrategias según su ámbito de aplicación.

2.2.1 Evaluación de los instrumentos utilizados

Intervención

Una estrategia ampliamente utilizada en la práctica científica, consiste en actuar sobre el fenómeno en estudio, o la entidad que se observa. Aplicable fundamentalmente a la

observación mediada por microscopios luminosos, la intervención permite incrementar el grado de confianza en lo que observamos por medio de estos instrumentos al comprobar las consecuencias que nuestra operación genera y al corroborar la predicción de los efectos de nuestra acción sobre el objeto en estudio.

Ahora bien, teniendo en cuenta que intervenir es siempre “intervenir en X con Y ” es preciso indicar en cuál de las variables recae el énfasis, cuando nos referimos a la intervención como una estrategia de discriminación entre efectos genuinos y artefactos.

En un primer sentido, intervenir significa que en el transcurso de la experimentación, el científico modifica deliberadamente el fenómeno o entidad en estudio. El énfasis recae en “intervenir en X ”. Intervenir significa entonces, modificar el objetivo (*target*) mediante la interacción física. Un ejemplo al respecto, que proporciona Hacking (1983, p. 219), consiste en la inyección de líquidos en una célula con una herramienta construida bajo el mismo microscopio. Aprender cómo el líquido coloreado se distribuye en la célula, presenciar la rotura de sus paredes si el volumen inyectado es superior a la capacidad de la misma, es observar lo esperado, y esto nos permite aceptar que la célula no es un artefacto del instrumento. Por medio de procesos controlados, se evalúa tanto el funcionamiento del instrumento como la objetividad de lo observado.

Otro sentido diferente que adquiere el concepto de intervención remite al uso de cierta entidad para propósitos ulteriores, como es el caso de un haz de protones utilizado para investigar la estructura del núcleo atómico, y en este caso, intervenir significa “intervenir con Y ”. La noción de intervención en este sentido, nos remite a la utilización de un *material* con un fin ulterior. Ronald Giere ha denominado aquellas entidades que no son objeto de la investigación sino medios para la indagación “herramientas de investigación” (*research tools*) (cf. Giere, 1988, p.127).

Para nuestros propósitos, el criterio epistemológico relevante es el primero. El segundo caso, si bien puede pensarse como una condición suficiente para la existencia de una entidad, no tiene una relación directa con la distinción entre artefactos y efectos genuinos, básicamente porque la posibilidad de utilizar una entidad con propósitos ulteriores presupone su existencia, al menos en aquellas situaciones experimentales en las que funciona como herramienta de investigación.

Confirmación independiente

Con este criterio se sostiene que la posibilidad de observar un mismo rasgo en un espécimen, por medio de dos –o más- instrumentos que funcionen bajo principios físicos diferentes, es una razón para considerar que los rasgos observados pertenecen efectivamente a la entidad estudiada, no siendo artefactos causados por los dispositivos utilizados. Ahora bien, ¿Qué presupuestos involucra la aceptación de la confirmación independiente? En principio, la aceptación de ausencia de unidad de la ciencia es un requisito necesario para poder aceptar este criterio. Ahora bien ¿Cómo se entiende dicha ausencia? Al momento de distinguir artefactos de efectos reales, la ausencia de unidad que nos interesa es fundamentalmente la fenomenológica. Nuevamente nos preguntamos, ¿Qué significa la ausencia de unidad fenomenológica? Dice Hacking:

Todos los microscopios luminosos, obviamente, utilizan luz; pero la interferencia, la polarización, el contraste de fase, la transmisión directa, la fluorescencia, etc. explotan aspectos fenomenológicos de la luz esencialmente no relacionados entre sí. (Hacking, 1983, p. 233).

Esto es, si bien todos los microscopios luminosos producen imágenes causadas por fotones, las imágenes obtenidas en los distintos microscopios se producen por propiedades diferentes aplicadas en el diseño y la construcción de cada instrumento. Pero no siempre la diferencia reside en lo fenomenológico. En otros casos, la independencia es ontológica. Los microscopios bien pueden no utilizar fotones, sino haces de electrones así como ondas sonoras. Las imágenes producidas en estos casos, son producto de procesos físicos diferentes.

Afirma Hacking al comparar los resultados de observaciones de cuerpos densos con un microscopio electrónico y un microscopio óptico de fluorescencia:

Dos procesos físicos –la transmisión electrónica y la reemisión fluorescente- se usan para detectar los cuerpos. Estos procesos no tienen prácticamente nada en común. Son esencialmente partes de la física no relacionadas. Sería una coincidencia ridícula si, una y otra vez, dos procesos físicos totalmente diferentes produjeran configuraciones

visuales que fueran, no obstante, artefactos de esos procesos físicos y no estructuras reales de la célula (Hacking, 1983, p. 230).

Puede objetarse que la afirmación anterior supone una inferencia a la mejor explicación, por cuanto indicaría que la mejor explicación disponible para explicar la presencia de una serie de rasgos comunes en el espécimen observado por medio de instrumentos cuyo funcionamiento se sustenta en sistemas causales diferentes, es considerar esos rasgos como producidos no por errores sistemáticos de los aparatos (debería producirse el mismo error en todos los instrumentos utilizados y en todas las observaciones realizadas con cada aparato). Si bien Hacking acepta que el argumento utilizado es abductivo, no pretende extraer las consecuencias tradicionales en defensa del realismo, no pretende inferir a partir de la conclusión, que las teorías científicas que sustentan la interpretación de los rasgos observados sean verdaderas o *aproximadamente* verdaderas, ni tampoco afirmar categóricamente la existencia de la entidad en estudio, sino sólo establecer una conclusión localizada, en sus términos:

He dicho que si se pueden ver los mismos rasgos fundamentales de la estructura utilizando diferentes sistemas físicos, entonces se tienen muy buenas razones para decir, “esto es real” en lugar de “esto es un artefacto”. No es una razón concluyente. (Hacking, 1983, p.234).

La confirmación independiente entonces, apela a procesos físicos que permiten observar un mismo tipo de entidad, procesos que son físicamente diferenciables y que como resultado, presentan la persistencia de rasgos similares, lo que hace implausible atribuir dicha persistencia al error, es decir, a artefactos producidos por ambos instrumentos. La figura 1 muestra dos colonias de bacterias observadas con dos tipos de microscopios:

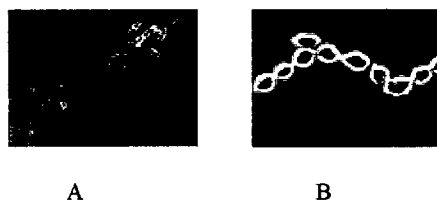


Fig. 1. Dos grupos de Micoplasmas Beta hemolíticos observados con: (A) microscopio óptico. (B) microscopio electrónico de transmisión.

Ahora bien ¿Qué significa que los *mismos rasgos* de una estructura se observen por medio de sistemas físicos diferentes? Es preciso aquí señalar que en numerosas ocasiones, aquello que observamos por medio de diferentes técnicas no es lo *mismo*, si por ello entendemos la permanencia del sustrato físico estudiado, dado que las muestras observadas deben ser tratadas con procesos químicos diferentes. Preparar una muestra para su estudio con un microscopio óptico requiere el uso de determinadas tinciones, cortes de ciertas características y montajes particulares. En el caso de la microscopía electrónica, la preparación exige cortes ultrafinos de la muestra, deshidratación, montaje, tinciones especiales e involucra una serie de procesos complejos, de modo tal que los rasgos presentes en un mismo preparado no pueden ser observados tanto con un dispositivo como con otro. Sí es posible estudiar una muestra preparada para ser observada con un microscopio electrónico, por medio de un microscopio óptico, pero en general no a la inversa y en ese sentido la observación no puede ser la misma. Veamos para ilustrar lo anterior, imágenes de acinos pancreáticos.

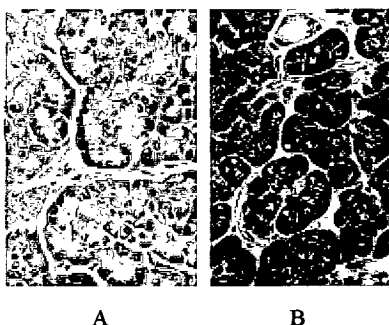


Fig 2. Acinos pancreáticos preparados para diferentes técnicas de microscopía y observados con microscopio óptico. Tinciones específicas. Para (A) hematoxilina y eosina. Para (B) Azur y azul de metileno. Tomado de Leeson, Leeson y Paparo.

Sin embargo, las muestras podrían ser tomadas de un mismo tejido, perteneciendo éste al mismo organismo, con lo que resultaría pertinente afirmar que los rasgos observados pertenecen a una misma clase de entidades. Lo anterior a su vez será complementado –en el caso de la histología - con análisis químicos, y técnicas apropiadas para determinar si la identidad de las estructuras observadas se corresponde con una identidad en lo que concierne a la composición química y funciones biológicas.

La confirmación independiente tiene como objetivo, entonces, la validación de resultados, ya sea observacionales o experimentales de características o propiedades presentes en entidades pertenecientes a una misma clase.

La limitación anterior se presenta en ciertas situaciones, pero en muchos casos es posible observar por diferentes microscopios una misma entidad, para ello preparemos en las siguientes imágenes:



Fig 3. Un cristal de nieve observado con un microscopio óptico y con un microscopio electrónico de barrido de baja temperatura (LT-SEM = Low Temperature Scanning Electron Microscope). Tomado de www.ipsi.barc.usda.gov página del Plant Science Institute USDA, Beltsville, Maryland.

En este caso, el cristal observado no requiere ningún tratamiento específico. De modo que puede ser indistintamente observado con ambos instrumentos, en este caso, un microscopio óptico y un microscopio altamente sofisticado como es el microscopio electrónico de barrido de baja temperatura.

Una última aclaración respecto de la confirmación independiente. Si bien Hacking toma como casos paradigmáticos ejemplos provistos por la microscopía, esta estrategia puede extenderse a los experimentos en general, siempre que exista la posibilidad de estudiar un fenómeno por medio de sistemas causales no relacionados, o de medir magnitudes con instrumentos que cumplan con los requisitos antes mencionados. Volveremos sobre este punto al hablar del uso de los resultados para validarlos.

Validación indirecta

En ciertos casos, un fenómeno o entidad, puede observarse con un sólo tipo de instrumento. El problema reside entonces, en cómo validar aquellas observaciones que no pueden ser confirmadas independientemente. Franklin propone para estos casos la validación indirecta que puede entenderse del siguiente modo: Dada una entidad *A* que puede observarse con un instrumento *I* (ie. un microscopio electrónico) la observación es válida -lo observado no es un artefacto producido por el instrumento- si una entidad *B*, similar a *A* respecto de propiedades relevantes, puede ser observada tanto con *I* como con *I'*, siendo *I'* un instrumento cuyo funcionamiento está basado en procesos físicos distintos, obteniéndose con ambas observaciones semejantes de la entidad *B*. En estos casos, la confirmación independiente de *B* permite incrementar la confianza en el funcionamiento correcto de *I*, lo que a su vez hace plausible la validez de la observación de *A*. Dice Franklin:

Supongamos que realizamos una observación que puede realizarse utilizando una única clase de instrumentos. Supongamos también que este aparato puede producir observaciones similares que pueden ser corroboradas por medio de técnicas diferentes. La coincidencia entre las diferentes técnicas incrementa el grado de confianza en las observaciones así como también en la capacidad del primer instrumento para producir observaciones válidas (Franklin, 1989, p. 439).

El requisito de similitud respecto de propiedades relevantes exige que la validación indirecta se efectúe sólo en los casos en que tanto *A* como *B* posean una serie de características comunes que permita la comparación y la extrapolación de resultados, es decir, para poder considerar que el instrumento funciona correctamente en ambos casos. Las propiedades que dos entidades deben compartir se especifican por medio de las teorías supuestas en la construcción y el funcionamiento del instrumento.

El ejemplo de característica relevante que ofrece Franklin para el caso del microscopio electrónico es el tamaño, La observación de *B* provee una validación de *A* porque sus tamaños no difieren:

Y la teoría del aparato indica que la medida del espécimen es un parámetro importante.
(Franklin, 1989, p. 439).

Para ilustrar como funcionaría la validación indirecta evaluemos el caso del enrejado microtrabecular que está presente en células eucariontes y puede observarse únicamente con el microscopio electrónico, de modo que podríamos dudar respecto de la validez de la observación ya que ésta no puede ser confirmada por medios alternativos. Sin embargo, existen otros componentes que son observados tanto por este medio como mediante otros instrumentos que presuponen diferentes procesos físicos, siendo las imágenes resultantes comparables en sus rasgos fundamentales. Tal es el caso de los microtúbulos, que pueden ser observados tanto con un microscopio óptico como con un microscopio electrónico. Al confirmar independientemente la presencia de microtúbulos en una célula apelando a diferentes técnicas de observación, estamos asimismo validando la corrección de la observación del enrejado, pero, más precisamente, la capacidad del instrumento para detectar entidades con ciertas características. En resumen, la atención está concentrada en este caso en mostrar que el instrumento funciona correctamente, que proporciona información confiable de una cierta entidad que no puede observarse por otro medio, y para ello se apela a entidades cuyos rasgos preponderantes sí son observados por medio de diferentes técnicas. La estrategia, entonces, puede reformularse como una especie de confirmación independiente más extrapolación de resultados si hay coincidencia de propiedades relevantes. Si los resultados provistos en la confirmación independiente concuerdan, entonces tenemos buenas razones para considerar que el instrumento utilizado funciona correctamente para entidades similares, y, por ello, que lo observado por este medio es válido.

Uso de aparatos cuyo funcionamiento esté basado en teorías bien corroboradas

El requisito anterior si bien permite validar ciertos casos de observaciones, deja abierto el problema de la objetividad de lo observado en muchas áreas de investigación.

Ninguna de las estrategias hasta ahora desarrolladas permite afirmar que las mitocondrias observadas en una muestra no son producto de fallas del instrumento, dado que no es posible detectarlas más que con microscopios electrónicos -no hay confirmación

independiente- y, además, ninguna organela de su mismo tamaño puede ser observada con otro tipo de microscopios -no hay validación indirecta-.

Respecto de este criterio, Allan Franklin indica que en aquellas situaciones en las que no es posible intervenir –como en las investigaciones cosmológicas- ni confirmar independientemente los resultados obtenidos –como en el caso antes mencionado de las mitocondrias- aún es posible, validar la observación si las teorías que están supuestas en el diseño y el funcionamiento del aparato son teorías bien corroboradas, teniendo en cuenta que:

La evidencia que apoya la teoría también provee razones para creer en los resultados de las observaciones. (Franklin, 1989, p. 440).

En general, este criterio no se utiliza de manera aislada, aun cuando se posean buenas razones para considerar que los instrumentos funcionan correctamente. Un caso interesante que muestra la insuficiencia de la aplicación de este criterio en la validación de una observación, es proporcionado por Rasmussen (1993, 2001), en su estudio de los mesosomas bacterianos. Considerados organelas de las bacterias, resultaron finalmente ser un artefacto causado por técnicas histológicas empleadas en la observación. Los mesosomas fueron observados sólo por medio de microscopios electrónicos, y en ciertos casos en los que las muestras eran tratadas con tinciones específicas. Si bien podían por su tamaño, detectarse con microscopios ópticos, la presencia de los mesosomas no fue registrada por este medio. Tampoco pudo detectarse ninguna diferencia entre la supuesta membrana del mesosoma, y la membrana citoplasmática de la bacteria apelando a tratamientos bioquímicos. Si bien los mesosomas fueron aceptados, durante un período, como estructuras reales de las bacterias, la imposibilidad de las técnicas bioquímicas para hallar características peculiares de esta organela de establecer su función, así como la imposibilidad de constatar la presencia de la misma con otras técnicas, contribuyeron a considerarla un artefacto.

Calibración

Llamamos calibración, al conjunto de operaciones que relaciona los valores indicados en el instrumento (su escala) con los valores correspondientes a una magnitud establecida

por un patrón de medición. Todos los instrumentos utilizados en la práctica científica deben ser periódicamente calibrados ya que esta técnica permite eliminar el error sistemático que se produciría en las mediciones como consecuencia de una variación en la escala del aparato (en tanto existen otras causas de error sistemático no podemos afirmar que lo elimine totalmente, por ejemplo, el error de paralaje) Teniendo en cuenta, además, que un instrumento de medición es un sistema físico, éste se ve afectado por el desgaste de sus partes, lo que incide en su correcto funcionamiento. De todos modos, no es sólo como consecuencia del desgaste que los instrumentos deben ser calibrados. La calibración permite comprobar en cada secuencia experimental el buen funcionamiento del instrumento por medio del uso de una señal que ya es conocida por el usuario, es decir, el patrón de medición antes mencionado.

Otra forma de calibración consiste en la reproducción de artefactos cuando se sabe que deben estar presentes¹⁵, como es el caso de las muestras impuras, que presentan una desviación predecible respecto de los resultados que produciría una muestra pura. En esta variante se apela al incremento de confianza en la operación del aparato en aquellos casos en los que una cierta desviación es esperada y esta desviación se manifiesta.

Dice Franklin respecto del valor de la calibración:

La calibración, el uso de una señal conocida para estandarizar un instrumento, es una estrategia importante para establecer la validez de los resultados experimentales. Si un aparato reproduce fenómenos conocidos, entonces fortalecemos de manera legítima nuestra creencia en el buen funcionamiento del aparato y en la confiabilidad de los resultados que proporciona. (Franklin, 1999, p. 237).

Ahora bien, debemos reflexionar respecto de los límites de la calibración como medio para validar la corrección de un dato experimental. Esto nos lleva a distinguir una serie de situaciones experimentales y el papel que desempeña la calibración en cada una de ellas.

1- La señal con la que el instrumento se calibra es provista por distintos tipos de instrumentos: deseamos conocer si el instrumento funciona correctamente, es decir, si recibe, dentro del margen estimado, toda la información que la fuente emite y solo ella (o si

¹⁵ Así lo presenta Franklin (1989) En trabajos posteriores (Franklin, 2002b) consideró la reproducción de artefactos como una estrategia independiente de la calibración.

el ruido es mínimo). Para ello se dispone de datos provistos por instrumentos semejantes y de otros instrumentos que funcionan basándose en principios físicos diferentes. Realizando la medición pertinente, si el resultado coincide en las distintas mediciones efectuadas, tenemos razones de peso para confiar en el buen funcionamiento del aparato calibrado. En este caso particular, el grado de creencia en la validez del resultado de la medición es alto, no sólo porque el instrumento está calibrado, sino también porque hay confirmación independiente del dato obtenido. Un ejemplo lo proveería la calibración de una balanza electrónica apelando a un objeto de peso determinado, y a su vez corroborando el peso del objeto con una balanza de otra clase.

2- La señal con la que se calibrará el aparato la proveen únicamente un único tipo de instrumento. Podríamos pensar en un voltímetro y una batería. En este caso, se conoce el voltaje de la batería y se utiliza esa información para evaluar el funcionamiento del instrumento. En este caso, también poseemos buenas razones para considerar que el aparato funciona correctamente si es capaz de registrar el voltaje esperado.

3- El aparato se ha diseñado para detectar un fenómeno que no ha sido observado aún y cuya existencia se desconoce. En este caso se apela al modelo del fenómeno que se indaga.¹⁶ Estimando la clase de fenómeno a detectar, se elige una señal que se presume similar para calibrar el instrumento. Ello es sin duda alguna problemático teniendo en cuenta que no hay certeza respecto de la similitud entre la señal con la que el detector se calibra y la señal para la cual el instrumento se ha diseñado. En los experimentos para la detección de radiación gravitatoria algunas antenas se calibraron con pulsos acústicos. La inferencia realizada en este episodio es que las ondas gravitatorias son semejantes a las ondas sonoras respecto del efecto sobre el detector. ¿Pero es acaso esta especulación justificada? En los próximos capítulos, el desarrollo de los intentos de detección de ondas gravitatorias nos permitirán evaluar esta situación en detalle.

¹⁶ Entendemos aquí por modelo del fenómeno a la caracterización teórica del mismo.

2.2.2 Evaluación del diseño experimental

Eliminación de las fuentes de error

Es esta una estrategia fundamental en la práctica experimental. Si consideramos un experimento como un sistema causal de interacciones físicas (Brown, 1989), al utilizar este criterio se busca satisfacer la exigencia de la cadena causal lineal, esto es, reducir a una sola el número de posibles causas del fenómeno observado. Si en cambio, pensamos en la experimentación teniendo en cuenta el enfoque informacional (Dretske, 1981, Shapere, 1983) este criterio trataría de satisfacer la demanda de transmisión de toda la información generada por la fuente, esto es la eliminación de equivocidad.

Deborah Mayo en *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, entiende que es satisfaciendo este criterio que la práctica experimental produce conocimiento confiable. Según la autora, todas las estrategias expuestas en este capítulo pueden reducirse a la eliminación del error por medio de pruebas severas (*severe tests*) Mientras que Franklin y Hacking buscan aumentar el grado de creencia en un resultado, Mayo cumpliría el mismo objetivo valiéndose de lo que denomina argumento del error.

Se acepta que el error está ausente cuando en un procedimiento de investigación (que puede incluir varias pruebas) existiendo una probabilidad alta de detectar un error si existe, de todos modos no lo detecta y por el contrario, produce un resultado que concuerda con la ausencia del error. (Mayo, 1996, p. 64).

Dicho de otro modo, si para un experimento dado las pruebas severas no detectan el error, puede afirmarse con probabilidad que el resultado no es un artefacto. Sin embargo, puede abordarse la eliminación del error sin apelar a la noción de severidad y probabilidad de detección de errores.

Consideremos cómo, sobre la base del conocimiento disponible aceptado respecto del fenómeno que se intenta estudiar, se busca eliminar las fuentes de error en la situación experimental.

Para ello tomemos por ejemplo los primeros intentos de detección de ondas gravitatorias, caso que será discutido en detalle en las próximas secciones. Joseph Weber, el

primer físico que intentó detectarlas, consideró cuidadosamente el problema del ruido. Dado que las ondas gravitatorias, por ser señales sumamente débiles son de difícil detección, el aparato debía ser sumamente sensible, pero a la vez, la extremada sensibilidad del instrumento, posibilitaba la detección de numerosas señales parásitas. Para filtrarlas, Weber tomó una serie de precauciones, entre ellas: el detector fue colocado en una cámara en la que previamente se había hecho vacío, fue aislado del piso del laboratorio de modo tal que las vibraciones del suelo no fueran confundidas con detección de ondas gravitatorias. Además, al ser el ruido termal ineliminable, ya que por la misma sensibilidad del detector, eran captadas las vibraciones de las moléculas constitutivas del aparato, -el único modo de eliminarlo consistiría en mantener el instrumento a una temperatura de 0° Kelvin, en la cual se produce el mayor ordenamiento de la materia y el movimiento molecular cesa- Weber fijó un umbral de aceptación de los pulsos estableciendo un umbral a partir del cual la señal recibida podría considerarse producto de la detección de ondas gravitatorias. Finalmente, construyó otro detector idéntico y lo ubicó en un laboratorio alejado, de modo que tomó en cuenta sólo aquellas señales coincidentes registradas por los dos aparatos.

Eliminación de explicaciones alternativas¹⁷

¿Qué sucede cuando el resultado de un experimento entra en conflicto con predicciones teóricas? ¿Obedece la discrepancia a una falla en el experimento o es acaso necesario modificar las teorías de las que se deriva la predicción? En estas situaciones ¿Cómo determinar si es la teoría la que requiere una modificación o si el experimento no fue bien realizado?

El caso de los neutrinos solares provee un buen ejemplo respecto de tales dilemas. Raymond Davis, el primer investigador que desarrolló un detector de neutrinos solares, no obtuvo resultados que confirmaran las predicciones teóricas, por el contrario, su detector captó sólo un tercio de los neutrinos previstos. La polémica respecto de los neutrinos

¹⁷ Franklin presenta este criterio conjuntamente con el anterior, denominándolos “La estrategia de Sherlock Holmes” Mi apreciación es que deben ser analizados separadamente. Básicamente porque la eliminación de las fuentes de error se aplica en el transcurso de la experimentación y la eliminación de explicaciones alternativas, al obtener los resultados.

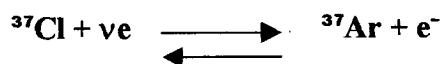
faltantes comenzó hace unos cincuenta años y todavía hoy se discute el caso, que fue denominado *neutrino puzzle*. Dicen Bahcall y Davis:

Durante los últimos 15 años, hemos intentado, en colaboración con numerosos colegas astrónomos, químicos y físicos, comprender y contrastar la teoría sobre la producción de energía en el Sol. Hemos sido sorprendidos por los resultados: existe una diferencia importante e inexplicable entre la observación y la supuestamente bien establecida teoría. Esta discrepancia ha ocasionado una crisis en la teoría de la evolución estelar, muchos autores están cuestionando algunos de los principios básicos en este tema, supuestamente resuelto. (Bahcall y Davis, 1976, p. 264).

Se estima que el Sol produce energía por medio de reacciones nucleares, particularmente la fusión nuclear, teniendo como principal fuente, el hidrógeno, según la reacción:



El detector de Davis consistía en un tanque de Tetracloroetileno ubicado en las profundidades de una mina en Estados Unidos rodeado por un *escudo de agua*. Tanto la elección del lugar como la protección del tanque obedecen a la intención de aislar el detector de la incidencia de rayos cósmicos, un factor de ruido, que, conforme a la estrategia anteriormente expuesta, fue tomado en consideración y prevenido en el diseño experimental. El solvente utilizado tiene la siguiente particularidad: cuando un neutrino de alta energía -tal es la característica de los neutrinos electrónicos provenientes del Sol- colisiona con un átomo de cloro, reacciona formando argón radioactivo, según la reacción:



El argón, producto de la reacción química en la que el experimento se sustenta, puede a su vez ser aislado, siendo entonces posible contabilizar las moléculas de argón gracias a sus propiedades radioactivas. Si por cada neutrino que interacciona con el cloro presente en el detector se produce una molécula de argón, entonces, la cantidad de argón presente es una

medida de los neutrinos detectados. Recordemos nuevamente que la tasa de argón es inferior a la que debería obtenerse conforme a las predicciones teóricas.

Presentaré a continuación las explicaciones propuestas para dar cuenta de las diferencias entre la predicción teórica y el resultado experimental de Davis. Luego, indicaré las razones aducidas para la eliminación de las explicaciones esgrimidas:

Fallas en el diseño experimental: Jacobs (1975) propuso que el solvente utilizado en el detector, puede, bajo ciertas condiciones, formar polímeros, que a su vez se combinarían con el argón radioactivo producido por la colisión de un neutrino con un átomo de cloro, y por tanto, no sería contabilizado. Según esta hipótesis, la tasa de neutrinos prevista es correcta y el problema radicaría en que el receptor no elimina la equivocidad, es decir, los neutrinos emitidos por la fuente llegarían al receptor, pero éste no sería capaz de detectarlos.

La comprensión del neutrino y de sus propiedades es insuficiente: la información que poseemos sobre los neutrinos se basa en el modelo estándar de partículas elementales y en la teoría de las interacciones débiles. Diversas modificaciones en las teorías mencionadas fueron propuestas para interpretar los resultados del experimento, por ejemplo, si la interacción débil no es el tipo de interacción del neutrino, en el trayecto recorrido desde el centro del Sol hasta el receptor podría o bien variar su energía interactuando con otras partículas o bien combinarse con éstas y por ello no sería detectada la cantidad esperada. Otra explicación en una línea similar sostiene que la interacción débil no es comprendida adecuadamente, por ejemplo, Bandyopadhyay (1972) propuso una teoría de las interacciones débiles no estándar.

Otra propuesta fue la desintegración de las partículas. Si fuera este el caso, los neutrinos tendrían una vida media limitada de menos de ocho minutos –que es el tiempo empleado por un neutrino para recorrer la distancia desde el Sol a la Tierra- antes de desintegrarse en otra partícula y por ello no serían detectados (Cf. Franklin, 2002, p. 207).

Bruno Pontecorvo en 1957, había considerado la posibilidad de que el neutrino fuese una partícula masiva lo que le permitiría oscilar en distintos estados, de modo que en el trayecto desde el centro del Sol en el que es emitido hasta el receptor, la partícula oscilaría en diferentes variedades de la entidad, es decir, oscilaría a la variedad tauónica o muónica.

En este caso, nuevamente, los neutrinos previstos llegarían al detector, pero éste, preparado sólo para detectar neutrinos electrónicos, no detectaría los restantes. Según esta explicación el experimento sería equívoco, porque captaría los neutrinos electrónicos que llegan al detector, pero no la totalidad de los neutrinos solares¹⁸. Además, sería preciso modificar el modelo estándar de partículas elementales, incorporando la masa no-nula de los neutrinos, algo que la teoría, si bien no prevé, tampoco prohíbe. Ello, a su vez, repercutirá en el desarrollo de un nuevo experimento destinado a captar tanto los neutrinos electrónicos como las otras variedades.

Errores en el modelo del Sol: Si al menos uno de los supuestos involucrados en la construcción del modelo solar es falso, podría suceder que la producción efectiva de neutrinos solares sea menor a la predicha, y que el resultado del experimento sea correcto. Esto se cumpliría, por ejemplo, si la cantidad de hidrógeno existente en el Sol fuese menor a la supuesta, con lo que la tasa de neutrinos producidos en un intervalo temporal dado, sería menor a la calculada. También podría ocurrir que la producción de energía en la estrella no obedeciera a la teoría actualmente aceptada de las reacciones nucleares, o no se produjera a partir de la reacción protón-protón, en la que, dada una cierta presión y temperatura, cuatro átomos de hidrógeno reaccionan formando helio y liberando dos positrones, dos neutrinos electrónicos y dos fotones. De modo que, según estas versiones, sería necesario modificar el modelo solar y no el experimento.

Veamos ahora, qué explicaciones se eliminan y las razones para ello:

La sugerencia de Jacobs fue contemplada en un experimento independiente realizado por Leventhal y Friedman, (Bahcall y Davis, 1976) en el que se mostró que la formación de polímeros era altamente improbable.

El experimento de Davis se ha repetido con variantes y en todas ellas la tasa de neutrinos detectados es inferior a la prevista. Las variantes a las que aludo se relacionan con el cambio del compuesto utilizado. Tanto en *Gallex* como en *Sage*¹⁹, el reactivo empleado es el galio. En estos casos la tasa detectada es mayor a la obtenida por Davis -aunque

¹⁸ En tanto detector de neutrinos electrónicos sería eficiente, pero no así como detector de neutrinos solares, si no todos los neutrinos solares fuesen electrónicos.

¹⁹ *Gallex* (ahora conocido como Gallium Neutrino Observatory) y *Sage* son experimentos desarrollados para medir la tasa de neutrinos solares. El primero se realiza en Italia y desde el 91' es dirigido por Wolfgang Hampel, mientras que el segundo detector se sitúa en Rusia y trabajan conjuntamente equipos de investigación rusos y americanos.

menor que la esperada- básicamente porque los detectores construidos a base de galio, permiten captar neutrinos de menor energía que el que funciona a base de cloro (la banda de detección es mayor que en el experimento de Davis). De modo que, teniendo en cuenta que los resultados experimentales permanecen robustos, parece necesario una revisión de las teorías que implican la predicción.

Por su parte, los modelos solares involucrados en el establecimiento de la tasa de neutrinos han sido corroborados por vías independientes. Por ello, la comunidad científica consideró apropiado desestimar las explicaciones que apelen a modificaciones respecto de la producción de energía en el interior del Sol.

La hipótesis de la desintegración de los neutrinos se rechazó al captar neutrinos electrónicos provenientes de una supernova situada a una distancia mucho mayor que la que separa a la Tierra del Sol.

Finalmente, el experimento denominado *Superkamiokande* mostró la masa no-nula de los neutrinos atmosféricos, lo que vuelve plausible que los neutrinos solares también sean masivos, lo cual a su vez apoyaría la hipótesis de la oscilación de estas partículas²⁰. Lo anterior conjuntamente con una anomalía en las tasas de producción de berilio y boro en el Sol (Raghavan, 1995) indicaría que la hipótesis más adecuada para explicar la discrepancia entre predicción y resultados experimentales es la oscilación de los neutrinos y no una falla del experimento. (Cf. Franklin, 2004, cp. 9).

2.2.3 Evaluación del tratamiento estadístico

Variación de las técnicas de análisis de datos

Es sabido ya, que la estadística desempeña un papel fundamental en las ciencias empíricas, la elección de los métodos de análisis de datos es un capítulo primordial en el inicio de toda actividad experimental. El diseño experimental por ejemplo, requiere la especificación previa de las técnicas de análisis de datos que han de ser utilizadas al finalizar el experimento para producir, a partir del conjunto de datos obtenidos, un

²⁰ Es preciso tener en cuenta que la masividad de una partícula es condición necesaria para su oscilación.

resultado experimental. Ahora bien, en tanto la elección de los métodos adecuados para la clase de investigación a realizar es un aspecto propio de la metodología de la investigación científica, no especificaremos aquí cómo se elige el tratamiento estadístico adecuado para cada situación experimental²¹. De todos modos, hay consideraciones epistemológicas relevantes que es preciso realizar respecto del papel que la estadística desempeña en el contexto experimental, ya que los argumentos estadísticos tienen un valor inestimable cuando se trata de evaluar los resultados de un experimento y discriminar entre artefactos y señales. ¿Puede acaso un resultado que corrobore una hipótesis sometida a contrastación deberse a la elección de una forma peculiar de tratamiento estadístico? ¿Puede ocurrir que un resultado sea producto de la selección de datos y que, en ese sentido, esté sesgado? ¿Es posible en un episodio científico particular revelar ese sesgo y resolverlo?

Nos preguntaremos, entonces, qué sucede con el resultado de un experimento si los datos se someten a tratamientos estadísticos diferentes, o si modificamos el criterio de selección de datos.

En primer lugar, dado un conjunto finito de procedimientos de análisis de datos pertinentes a una situación experimental dada, puede variarse el tipo de análisis, manteniendo constantes los datos elegidos, de modo que la coincidencia de los valores obtenidos constituya un argumento en favor de la validez del resultado. Si el resultado es un artefacto producido por un manejo estadístico inadecuado –el llamado *masaje estadístico*– la variación de los métodos pondrá de manifiesto una discrepancia entre los resultados que pondrá en duda las conclusiones obtenidas. (Cf. Franklin, 2002a, p. 38).

Por otra parte, teniendo en cuenta que no todo dato obtenido será seleccionado para el análisis posterior, debe establecerse el criterio con el que tal elección se efectuará²². Pero entonces, aceptando que la selección de datos es una característica presente en todo experimento ¿Cómo puede sostenerse que a pesar de los cortes realizados el resultado experimental obtenido es válido? Una estrategia a emplear –y de hecho utilizada²³–

²¹ Para ello puede consultarse Baird (1988).

²² Como indica Franklin en (2002a, p. 37) ciertos datos se eliminan debido a que el aparato no funciona correctamente o no se han minimizado el efecto perturbador de factores ambientales que pueden alterar el experimento.

²³ Franklin, en su último libro, ejemplifica esta estrategia a partir de su análisis de los datos de la medición de la carga del electrón. Por esta investigación, Millikan, fue acusado de eliminar datos relevantes para llegar a sus resultados. Estudiando los manuscritos del científico y eligiendo al azar los datos a considerar, Franklin defiende la pertinencia de las conclusiones de Millikan.

consiste en evaluar si, variando aleatoriamente los datos elegidos y manteniendo constante el método de análisis, el resultado no se modifica sustancialmente. En este caso habría buenas razones para afirmar que el resultado final del experimento no es producto de los cortes. De lo contrario, en palabras de Franklin:

Si el resultado es sensible a las variaciones del criterio de selección [de datos] esto sugiere –si bien no prueba- que el resultado es un artefacto. (Franklin, 2002b, p. 38).

2.2.4 Evaluación de los resultados obtenidos

Utilización de los mismos resultados para validarlos ²⁴

Este criterio, permitiría afirmar la corrección de un resultado si permanece robusto en una secuencia de experimentos, así como en la variación de condiciones experimentales y análisis de los datos. Para esta estrategia los ejemplos son numerosos. Pensemos en la medición de la unidad mínima de carga eléctrica y en la medición del número de Avogadro. En la investigación llevada a cabo por Millikan, los datos fueron consistentes en el transcurso de las mediciones realizadas, así como también en las variaciones de los experimentos. En el caso de Perrin y la medición del número de moléculas contenidas en un gramo de una sustancia, el valor obtenido se mantuvo constante al variar los métodos de medición. Trece experimentos diferentes proporcionaron resultados coincidentes respecto del número de Avogadro (Cf. Salmon, 1984, quien lo utiliza como un argumento a favor del realismo de las entidades inobservables a ojo desnudo). La solidez de un resultado experimental puede determinarse a partir de experimentos que investiguen un mismo fenómeno por medio de sistemas causales no relacionados. Esto es, diseños experimentales diversos, que produzcan resultados coincidentes, constituyen un modo de argumentar a favor de la corrección del resultado o de la existencia de un efecto o una entidad. Pensemos, además, en los distintos métodos de medición de parámetros o constantes, tales como la determinación de la velocidad de la luz realizada por Röemer y posteriormente por Fizeau

²⁴ Franklin (2002b) desarrolla como una misma estrategia el argumento de la solidez (*robustness*) de los resultados y del acuerdo entre resultados y predicciones teóricas. Sin embargo, considero necesario distinguir los dos casos ya que no están necesariamente relacionados.

así como por Foucault (cf. Plá, 1947), o bien la detección de electrones por medio de un contador Geiger y un contador Cerenkov, constituyen vías alternativas para argumentar respecto de la detección de electrones a partir de una fuente de emisión.

Explicación de los resultados a partir de la teoría del fenómeno

Entendida como una forma de apoyo teórico, esta estrategia permitiría establecer la corrección de un resultado experimental en el caso en que éste coincida con predicciones de una teoría, o bien cuando un cierto fenómeno obedece a leyes ya aceptadas por la comunidad científica. El acuerdo entre teoría y experiencia, entre una predicción y los resultados de la experimentación, proveería razones para su aceptación. Sin embargo, es problemático afirmar que una observación que tiene por objeto contrastar una teoría es validada por la misma teoría a contrastar. Sólo podría apelarse a esta estrategia en los casos en que la teoría posea un conjunto de consecuencias observacionales que han sido corroboradas previamente. Podríamos reparar en la teoría de la relatividad, paradigma de teoría aceptada, cuyas predicciones corroboradas son numerosas y provienen de los campos más diversos. La deflexión de la luz en un campo masivo, el incremento de la masa de partículas aceleradas, el aumento de la vida media de partículas al ser sometidas a un campo gravitatorio, la explicación la anomalía del perihelio de Mercurio, proveerían razones para aceptar una nueva predicción, y, de hecho, incitan la búsqueda de los fenómenos aún desconocidos que la teoría permite deducir. En el caso de las ondas gravitatorias, cuya existencia predice la teoría general de la relatividad, dicha predicción ha favorecido el desarrollo de detectores de las mismas. Ahora bien, ¿Es suficiente la obtención de resultados positivos, para afirmar la existencia de radiación gravitatoria teniendo en cuenta que es una predicción de una teoría bien corroborada? Mi respuesta es negativa; el resultado no sólo debe ser positivo, sino que debe concordar con lo estimado tanto por la teoría de la que la predicción se deriva, como ser comprensible en el marco del conocimiento cosmológico actualmente aceptado. Debe asimismo evaluarse si, en el transcurso de la detección, se han aplicado las estrategias aquí desarrolladas, en el caso en que estas fueran aplicables.

Fenómenos que presentan comportamiento nómico

Un argumento que puede emplearse para argumentar a favor de la validez de un resultado es que el fenómeno posea comportamiento nómico. El ejemplo que proporciona Franklin (1989, p. 441) muestra que las observaciones de Galileo de las lunas de Júpiter, a pesar de que el telescopio utilizado no era un instrumento extremadamente confiable, podían ser discriminadas de artefactos producidos por éste, dado que obedecían las leyes de Kepler y presentaban eclipses, propiedades que es improbable se encuentren en un artefacto. Si bien el argumento es anacrónico – Galileo no conocía aún las leyes de Kepler – tiene la ventaja de ilustrar claramente la estrategia.

Significación estadística de un efecto y desviación estándar

Tomemos para ilustrar la importancia del uso de argumentos estadísticos en la aceptación de un resultado, el caso del descubrimiento de las corrientes neutras presentado en Galison (1987) y discutido en Mayo (1996).

Las corrientes neutras son reacciones en las que se produce un flujo de partículas sin carga, de modo más preciso, en una corriente neutra se emiten neutrinos –que son partículas sin carga así como los neutrones– sin que se liberen muones –que son partículas con carga, como los electrones y los protones. Los experimentos que se llevaron a cabo para determinar la existencia o no de corrientes neutras son en sí mismos fascinantes, tanto desde la perspectiva científica como por la relevancia epistemológica del caso, dado que la observación a partir de la cual se arriba a la conclusión de la existencia de tales corrientes es una observación sin interacción física.²⁵ Aquí no podemos dar cuenta de los detalles del experimento, e indicaremos sólo que la detección de muones en la cámara de burbujas era evidencia de una corriente cargada y, por el contrario, la ausencia de muones constituía evidencia de la existencia de corrientes neutras, lo que era más sencillo de determinar, puesto que la observación positiva de las corrientes neutras requiere la detección del flujo

²⁵ Para consultar la historia de este experimento puede consultarse Galison (1987). Para un análisis de las observaciones sin interacción física y una descripción clara del caso, véase Cassini (2000) cp. 6.

de neutrinos, y las características de las partículas vuelven prácticamente imposible el experimento.

Según Deborah Mayo (1996), la determinación de la significación estadística de un efecto es uno de los elementos que permite argumentar en favor de la presencia de un fenómeno. En este caso, la significación estadística se obtuvo calculando el cociente entre los eventos computados en los que no aparecen muones y los eventos en los que los muones están presentes. Cuanto mayor es el valor del cociente, mayor será la probabilidad de que existan las corrientes neutras. Ahora bien ¿No puede este resultado ser debido no a la existencia de corrientes neutras, sino a fallas del aparato, que no permiten detectar los muones? Si este es el caso, habría equivocidad en la información obtenida, los muones se producirían en el acelerador de partículas, pero no serían detectados. De modo que Mayo repara en la necesidad de calcular la probabilidad del efecto para el caso en que la hipótesis nula sea verdadera, afirmando la hipótesis nula la no-existencia de las corrientes neutras. Una serie de nuevos experimentos se diseña entonces para establecer qué efectos podrían simular una corriente neutra y cuál es la probabilidad de la ocurrencia de tales efectos en el transcurso del experimento. Si la probabilidad de la ocurrencia de eventos que simulen una corriente neutra es elevada, entonces, no es confiable afirmar la observación de corrientes neutras. Para determinar la probabilidad de obtener un resultado determinado aun en el caso en que la hipótesis nula sea verdadera, se calcula el “*puntaje z*”, un parámetro que permite relacionar la media estimada para el caso en que la hipótesis nula fuese correcta con la media obtenida a partir de las mediciones realizadas. El puntaje *z* se expresa en unidades de desviación estándar, lo que a su vez permite conocer la probabilidad de la hipótesis nula a partir de los datos disponibles. Si el número de desviaciones estándar es mayor que tres, la probabilidad de la hipótesis nula es baja, de modo que puede rechazarse y afirmar la hipótesis alternativa, que en el caso particular del que nos ocupamos es la afirmación de la existencia de las corrientes neutras.

2.3 ¿Qué podemos afirmar a partir de la aplicación de las estrategias epistemológicas?

He presentado un conjunto de estrategias que, utilizadas habitualmente en la actividad científica, permiten incrementar nuestra confianza en los resultados experimentales. Ahora

bien, ¿Es la aplicación de las mismas necesaria para que en el transcurso de un experimento se obtengan resultados válidos? Y por otra parte ¿Son las estrategias empleadas condiciones suficientes para la validez de una observación o de un experimento?

Respecto de la primer pregunta, mi respuesta es afirmativa. En cada situación experimental hay un conjunto de estrategias que pueden ser empleadas –notemos que no en toda situación pueden estos criterios ser utilizados exhaustivamente- y si se pretende un resultado robusto, capaz de resistir el escrutinio de los expertos en la materia, deben ser aplicadas exitosamente antes de poder considerar que el experimento ha concluido.

Reflexionando ahora respecto de la suficiencia de la aplicación de las mismas para garantizar la corrección de un resultado obtenido, mi respuesta es negativa. Un número de limitaciones vuelven a la experimentación falible: La incertidumbre en la medición es ineliminable, los instrumentos utilizados poseen precisión limitada, o pueden ser empleados de manera inadecuada. Los presupuestos teóricos involucrados en la experimentación pueden ser falsos, lo que inducirá un diseño experimental inapropiado. Por ello, utilizar estas estrategias no asegura que el resultado sea correcto.

La falibilidad es la nota distintiva de la ciencia, una característica que comparten tanto las teorías como los experimentos. Los enunciados experimentales son revisables y esta revisión se efectúa siguiendo una dinámica que involucra la relación entre el ámbito teórico, el experimental y el tecnológico.²⁶

Sin embargo, y este era el principal propósito del apartado, el empleo del conjunto de métodos antes desarrollados y la presencia de esta forma de argumentación experimental, permite sostener que los resultados experimentales son aceptados sobre la base de una serie de criterios, de índole interna, en tanto están determinados por el conocimiento del que los científicos disponen, lo que a su vez permite poner de manifiesto la racionalidad involucrada en la investigación empírica. Que estos criterios no sean suficientes no debe sorprendernos, ya que la forma de muchos de los argumentos es abductiva: la mejor explicación para una misma configuración visual a partir de dos instrumentos que operan bajo principios físicos diferentes, es que ésta no es producto de un error en ambos; la mejor explicación para la persistencia de un resultado en el transcurso de múltiples experimentos,

²⁶ En el capítulo anterior esboqué brevemente la dinámica a la que aquí aludo. Excede los límites del presente trabajo una propuesta acabada de la misma.

es que éste sea aproximadamente correcto; la mejor explicación para la persistencia del resultado con la variación de métodos de análisis estadístico, es que éste no es producido por el manejo estadístico de los datos. En otros casos, se apela a la probabilidad: es altamente improbable que la hipótesis nula sea verdadera dados los datos obtenidos, de lo que no se sigue con certeza que la hipótesis propuesta sea verdadera; es improbable que los datos coincidan con la teoría y que sin embargo sean un artefacto. Ello nos lleva a considerar si acaso la validez de un resultado experimental es relativa al cuerpo de conocimientos aceptado en un momento dado.

Si bien hay buenas razones, no hay certeza, pero tampoco arbitrariedad, al menos no en los genuinos intentos de comprensión del mundo físico. Se habrá notado que he utilizado muchos ejemplos en los que alguna, o varias de las estrategias se aplican y sin embargo, el resultado se rechaza o sigue considerándose en estado de problema. Restaría al respecto evaluar si en esos casos, se pusieron en práctica todas las estrategias aplicables a la situación, y asimismo, el grado de apoyo que experimentos posteriormente realizados otorgaron al primero. Volveré sobre este punto en los próximos capítulos.

He pretendido en estas líneas sostener que las razones por las cuales un resultado experimental se acepta o se rechaza son internas, es decir, que existe un conjunto de criterios epistemológicos en los que la validación se fundamenta. He desarrollado y analizado tales criterios y evaluado tanto el alcance como las limitaciones de los mismos.

Ahora bien, al comenzar el capítulo, he mencionado los desafíos que se han presentado a la objetividad de la experimentación. Veremos a continuación lo que un externalista sostendría respecto de las razones por las cuales un resultado se acepta, y los argumentos que esgrime en defensa de su tesis.

CAPÍTULO 3

*To create a certainty, the skill
and fallible effort that goes
into making an experiment
has to be hidden .*

Harry Collins

3.1 Introducción

En el capítulo anterior argumenté que las razones por las cuales se acepta o se rechaza un resultado experimental son fundamentalmente internas, ya que dicha aceptación requiere la satisfacción previa de un conjunto de criterios determinados por la misma situación experimental²⁷. Señalé asimismo que la validez de un resultado puede juzgarse en función del cuerpo de conocimiento aceptado en un momento dado, y un cambio en éste, puede generar reinterpretaciones respecto de la significación del experimento que lo presupone y consecuentemente de sus resultados.

Esto se sigue por dos razones: en principio, todo diseño experimental parte de un conjunto de supuestos teóricos que en el momento de la investigación se consideran exentos de duda. A su vez, un resultado es interpretado a la luz de un conjunto de teorías²⁸. Puede entonces darse el caso de obtener un resultado correcto y, sin embargo, atribuirlo a una forma de error, porque el dato no se considera significativo dado el conjunto de teorías presupuestas.

Tomemos para ilustrar lo anterior, las investigaciones realizadas sobre el principio de conservación de la paridad en las interacciones débiles en 1950, el llamado *enigma* τ - θ . Si se las clasificaba teniendo en cuenta su masa y su tiempo de vida τ y θ eran la misma clase de partícula, si, por el contrario, se atendía al *spin* y a la paridad intrínseca, resultaban ser partículas diferentes. Una serie de experimentos llevados a cabo entre 1920 y 1930 proveían evidencia sobre la violación de la paridad para las interacciones débiles, lo que a su vez explicaba en retrospectiva el que τ y θ fueran dos modos de desintegración de un

²⁷ Al decir que los criterios son determinados por la situación experimental me refiero a que la aplicación de los mismos depende, en numerosas ocasiones, del tipo de experimento en cuestión, tal como indiqué en el capítulo anterior.

²⁸ Para profundizar la incidencia del contexto teórico en la interpretación de las conclusiones de un experimento puede consultarse Cassini y Levinas (2005).

único tipo de partícula. Sin embargo, al carecer la comunidad científica del contexto teórico apropiado para dar sentido a los datos obtenidos, los mismos se consideraron errores producidos por el diseño experimental. (cf. Franklin, 2005, pp. 15-31) Sólo posteriormente, se comprendió que los experimentos mencionados proveían evidencia respecto de la violación de la paridad en las interacciones débiles, permitiendo superar el acertijo.

El ejemplo anterior adquiere mayor relevancia en esta discusión, si pensamos en los límites asignados a la aplicación de las estrategias epistemológicas expuestas en el capítulo precedente. Las mismas no son suficientes para garantizar la corrección de un resultado experimental no sólo porque el error es ineliminable en sentido estricto, sino porque aun cuando fuera posible descartar errores en los instrumentos, en el diseño experimental y en el tratamiento estadístico, los resultados deben ser interpretados y de no disponer de una teoría adecuada para efectuar tal interpretación, la evidencia bien puede no ser reconocida como tal.

Presenté por otra parte, aunque sucintamente, las ideas de Collins respecto de las razones por las que un resultado experimental se acepta o rechaza, e indiqué cómo, aun si la replicación no fuese una práctica usual en las ciencias experimentales, de ello no se seguiría que la aceptación o el rechazo de resultados siga una *lógica* puramente externalista.

Ahora bien, con el fin de ofrecer un panorama más completo de las ideas defendidas por la sociología del conocimiento científico en lo concerniente a esta discusión, resta comentar en detalle el argumento del que Collins se vale para arribar a las conclusiones antes mencionadas. El objetivo principal de este capítulo es ofrecer un análisis del argumento del regreso del experimentador y señalar los principales supuestos del mismo.

Para ello, la estrategia es la siguiente: en primer lugar ofreceré una introducción a los primeros intentos por detectar ondas gravitatorias, caso al que el autor apela con el fin de ilustrar su tesis. Mostraré las particularidades y los inconvenientes del experimento de Joseph Weber y los esfuerzos subsiguientes realizados por otros equipos de investigación para detectar ondas de gravedad. Acto seguido, expondré el argumento del regreso del experimentador, para discutir luego los supuestos que le permiten a Collins la formulación del mismo. Finalmente, delinearé las alternativas posibles para evitar el regreso, tema que será objeto de capítulos posteriores.

3.2 La detección de radiación gravitatoria en 1970

Se deduce de la teoría general de la relatividad que los cuerpos masivos, al ser acelerados deforman el espacio tiempo curvo. A su vez, esta deformación geométrica, que se propaga con la velocidad de la luz, provoca una sutil variación en la constante de gravitación universal²⁹, variación que a pesar de ser sumamente débil, puede ser medida.

Los fenómenos que producirían radiación gravitatoria son numerosos y puede clasificarse la radiación como discreta³⁰ o continua, según la fuente que la genere: las explosiones de novas y supernovas, la formación de agujeros negros y las colisiones entre éstos dan origen al primer tipo de radiación. Los púlsares binarios, las estrellas de neutrones, y la formación del espacio-tiempo a partir del *Big Bang*, son por el contrario fuentes de radiación continua. Conocer la fuente de la radiación permite acotar el espectro de frecuencias previsible para las ondas, y consecuentemente, construir el detector más apropiado para el tipo de fuente cuya radiación se intentará captar. (cf. Davies, 1980, p. 77 y ss.)

Joseph Weber, físico e ingeniero, se dedicó, durante la década de 1960, a construir un detector de ondas gravitatorias³¹. El detector de Weber no es un aparato excesivamente sofisticado, consiste en un cilindro macizo de aluminio, de 1.53 m, 0.66 m de diámetro y 1,4 toneladas, que funciona al modo de un oscilador armónico sintonizado para captar la radiación gravitatoria de frecuencia cercana a los 1660 hz, la cual correspondería a la radiación emitida en los colapsos de supernovas (cf. Weber, 1969). La antena, a su vez, lleva conectados transductores que convierten las oscilaciones de la barra en impulsos eléctricos, los cuales son posteriormente amplificados y registrados (cf. Davies, 1980).

²⁹ La constante de gravitación universal indica el valor de la fuerza de atracción gravitatoria entre dos cuerpos masivos. En un universo de características newtonianas, la gravedad es en sentido estricto una fuerza de magnitud constante; en un universo einsteniano, por el contrario, la gravedad cesa de ser entendida como fuerza, para concebirse como una propiedad geométrica del espacio-tiempo. Puede parecer una contradicción en los términos el denominar *constante de gravitación* a una variable, sin embargo es un uso establecido en la física.

³⁰ La radiación se denomina discreta cuando es producto de eventos puntuales, generalmente sucesos violentos y su existencia está acotada en intervalos temporales.

³¹ Sobre los trabajos destinados a la detección de ondas gravitatorias, consúltese Weber (1960, 1967, 1968, 1968b, 1969, 1970, 1972).

Detector tipo Weber de ondas gravitatorias

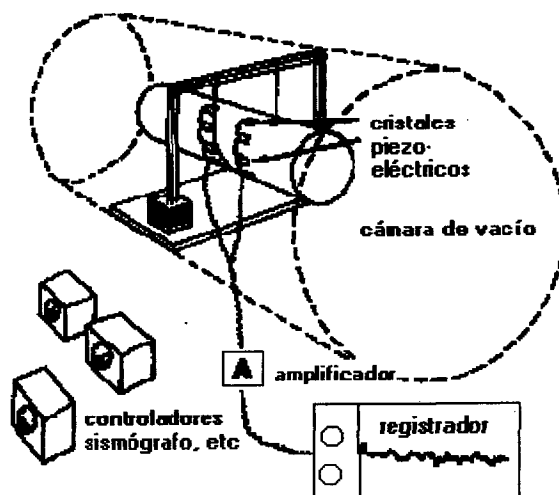


Fig 4: Adaptada de Collins (1985) p. 82.

Como anticipé, la señal que produce una onda gravitatoria en un detector es sumamente débil; por ende, el problema fundamental para quienes intentaron detectar ondas de gravedad radica en cómo distinguir la señal causada por la vibración que una onda produciría en el detector, de vibraciones causadas por otras fuentes. Para minimizar el problema del ruido, Weber tomó numerosas precauciones: los controladores que aparecen en la Fig. 4 permiten detectar de manera independiente señales que la antena captaría como ondas gravitatorias, no siendo estas más que producto de movimientos sísmicos o electromagnéticos. Al ser el ruido térmico ineliminable³², Weber fijó el umbral a partir del cual las oscilaciones detectadas podrían atribuirse a ondas gravitatorias. Sólo tras haber tomado tales precauciones anunció los resultados obtenidos: sus registros indicaban al menos 7 pulsos diarios que no podían atribuirse más que a ondas gravitatorias. En un artículo publicado en *Physical Review Letters* en 1969, Weber dio a conocer estos resultados. Es importante destacar que dicho exceso –interpretado como la detección de altos flujos de ondas gravitatorias de frecuencia cercana a los 1660 Hz- si bien no es

³² El ruido térmico surge por los movimientos moleculares, los cuales sólo cesan a 0° kelvin. Mantener el detector a tal temperatura resultaba en ese momento técnicamente imposible. Sin embargo, entre 1970 y 1990, se han puesto en funcionamiento *barras criogénicas* de gran sensibilidad, capaces de reducir considerablemente el ruido termal. (Cf. Collins 2004, 2ª parte)

incompatible con las teorías físicas y cosmológicas aceptadas, es altamente improbable a la luz de éstas, razón por la cual fue recibido con gran escepticismo. Tal como afirma James Levine, colaborador de Garwin en la detección de radiación gravitatoria:

La emisión de energía gravitatoria equivalente a 5 masas solares, diariamente, de una fuente alejada 300 años luz de la tierra, sería insuficiente para producir los resultados que obtuvo Weber. Y un evento tal, sería visible a plena luz del día. (Levine, 2004, p.45).

Posteriormente, Weber anunció la coincidencia de señales entre dos detectores alejados, que podían tener como fuente el centro de la galaxia (cf. Weber, 1970) y la repetición de los picos cada veinticuatro horas (denominada correlación sideral). Por ello, varios equipos de investigación buscaron contrastar las afirmaciones de Weber (cf. Garwin y Levine, 1974) diseñando instrumentos similares a la antena original con mayor sensibilidad, pero los resultados fueron negativos. ¿Qué decisión debe tomarse en este caso? ¿Detectó Weber ondas gravitatorias? O, por el contrario, ¿Disconfirmaron los restantes equipos los resultados de Weber? ¿Cómo determinar qué experimento fue competentemente realizado? ¿Obedece la discrepancia a sutiles diferencias entre los equipos utilizados? ¿Qué evidencia permitiría dirimir esta cuestión?

3.3 El argumento del regreso del experimentador

En un artículo publicado en 1975 en la revista *Sociology*, Harry Collins ofrece un análisis de los problemas asociados a la investigación de la existencia o no de radiación gravitatoria (Collins, 1975). En este artículo sienta las bases para lo que posteriormente denominará el *regreso del experimentador*, argumento expuesto por primera vez en su libro: *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice* (1985). En esta obra afirma que *el regreso del experimentador* (en lo sucesivo *ARE*):

(I) Es una paradoja que se presenta a aquellos que pretenden utilizar la replicación como un test de la verdad de una proposición científica. El problema es que, dado que la experimentación es una cuestión de habilidad práctica, nunca es claro si un segundo

experimento fue lo suficientemente bien realizado como para contar como una contrastación de los resultados del primer experimento. Un experimento posterior es requerido para evaluar la calidad del último, y así... (Collins, 1985, p.2).

El planteo de Collins en este párrafo es el siguiente: si hemos de determinar el valor de verdad de un enunciado empírico obtenido por vía experimental, debe apelarse a la replicación³³. Lamentablemente, a pesar de los numerosos artículos dedicados al tema Collins no define claramente el término. Asume que un experimento es la replicación de otro si los mismos son idénticos, sin indagar a qué clase de identidad se está refiriendo. Deberíamos entonces asumir a partir de ciertas citas aisladas que el autor se refiere a la *identidad funcional*³⁴, por ejemplo al decir:

Discutiendo los intentos de detección de altos flujos de ondas gravitatorias a comienzos de 1970, un físico ilustró la situación comentando que tal vez la diferencia entre un aparato y el otro se debiera a que el primero apoyó sobre los transductores una copia del *Physical Review Letters* mientras el pegamento se secaba. (Collins, 1991, p. 135).

Si aparentemente se cumple la identidad material, detalles presuntamente triviales, como el explicitado en la cita anterior, pueden dar como consecuencia que el primer y segundo experimento no sean *funcionalmente idénticos*, lo que se debería a la existencia de conocimiento tácito, esto es, conocimiento no-proposicional que desempeñando un papel importante para el funcionamiento del instrumento, no puede transmitirse por los medios convencionales. En *Tacit Knowledge, Trust and the Q of Sapphire*, Collins define el conocimiento tácito como:

Conocimiento o habilidades que pueden ser traspasadas entre científicos por contacto personal pero que no pueden ser, o no han sido transferidos por medio de fórmulas, diagramas o descripciones verbales así como tampoco por medio de instrucciones para actuar. (Collins, 2001, p.72).

³³ Las razones que brinda Collins para ello serán explicitadas posteriormente.

³⁴ Collins no utilizó esta expresión en ninguno de sus escritos. Volveremos sobre la misma en el capítulo 5 de este trabajo.

Si los dispositivos no son *funcionalmente idénticos*, las diferencias entre los resultados obtenidos en ambos experimentos pueden obedecer a diferencias en los instrumentos de detección, con lo que no sería posible dirimir qué instrumento –si alguno– proporcionó el resultado correcto ni por ende decidir qué enunciado empírico es verdadero.

En una segunda aproximación al problema de la validación de resultados experimentales, afirma:

(II) Cuál sea el resultado correcto depende de que efectivamente haya ondas de gravedad golpeando la Tierra en flujos detectables. Para resolver esto, debemos construir un buen detector de ondas de gravedad y echar un vistazo. ¡Pero no sabremos si hemos construido un buen detector hasta haber probado y obtenido el resultado correcto! Pero no sabemos cuál es el resultado correcto hasta...y así *ad infinitum*.
(Collins, 1985, p. 85).

Ciertamente concederíamos que el resultado correcto de un experimento tendiente a determinar la (in)existencia de un fenómeno, evento, entidad o proceso, depende de la (in)existencia del fenómeno, evento, entidad o proceso en cuestión. También aceptaríamos que un buen detector será aquel que provea un resultado positivo en caso de que el fenómeno exista, y un resultado negativo en caso contrario. Resta evaluar si el único modo de establecer el resultado correcto es a partir de un detector adecuado para tal fin.

Aunque Collins parece asumir que (II) es tan sólo un caso particular de (I) es preciso diferenciar ambas versiones. Si bien en ambos casos, se pone de manifiesto un problema de carácter epistémico, por cuanto los argumentos revelan las limitaciones de nuestros medios para obtener conocimiento científico y abordar el mundo físico, en (I) el énfasis recae en el problema de la replicación de los experimentos, problema a su vez ligado con la postulación de juicios de identidad; mientras que en la segunda versión, al afirmar que el único modo de juzgar cuál sea el resultado correcto es a partir de un instrumento que funcione adecuadamente, se relaciona, por el contrario, con la tesis de la autonomía de la experimentación. En ese intento se desestima la importancia del contexto teórico en el que el experimento se desarrolla y a partir del cual adquiere significado, se elude el valor del conocimiento aceptado, y el hecho de que este conocimiento es el que da forma y sentido a la investigación delimitando las respuestas posibles. Es por ello que la aceptación de (II),

nos compromete con una versión extrema de la tesis de la autonomía de la experimentación, al suponer que el reconocimiento de la corrección de un resultado experimental sólo depende de cuestiones empíricas.

Godin y Gingrass, en un artículo dedicado al argumento del sociólogo, afirman que el mismo no es sino una reformulación del argumento escéptico respecto de la fundamentación del conocimiento propuesta por Montaigne, por ejemplo al decir:

Para juzgar las apariencias que recibimos de los objetos, necesitamos instrumentos de juicio, para verificar el instrumento, necesitamos una demostración, para verificar esta demostración, un instrumento: nos encontramos en un círculo. (Montaigne, 1922, p. 322)

Sin embargo, creemos –a diferencia de Godin y Gingrass- que lo que Collins denuncia es la ocurrencia de un argumento por reciprocidad al momento de intentar establecer la validez de un resultado experimental. En este tipo de argumentos, con el propósito de probar una cierta conclusión se asume como verdadera una premisa cuya verdad a su vez depende de la verdad de la conclusión que se intentaba probar. Los escépticos griegos discutieron incansablemente tanto con los estoicos como con Aristóteles, respecto de la invalidez de tales modos de argumentación, con el fin de arribar a la suspensión del juicio en tales disputas. (Cf. Barnes, 1990). En el caso del *ARE* y, fundamentalmente en la versión ontológica del mismo, Collins señala que sólo podemos saber cuál es el resultado correcto para una cierta magnitud si disponemos de un instrumento de medición apropiado, pero, -afirma Collins- la única forma de determinar el buen funcionamiento del detector reside en que provea el resultado correcto, cosa que no podremos determinar a menos que nuestro detector funcione correctamente.

En general, los autores que han criticado las afirmaciones de Collins³⁵, particularmente aquellos que se han detenido en el análisis del argumento del regreso del experimentador, han sostenido que (I) y (II) son *formulaciones diferentes* del regreso, sin embargo, ningún

³⁵ El argumento de Collins ha recibido numerosas críticas desde diversos ángulos, nosotros seguiremos la línea de quienes analizan el argumento a fin de mostrar un *non-sequitur* o debilitar el alcance de sus consecuencias. Véase además de los autores ya mencionados, Culp (1995). Para una discusión respecto de la inconsistencia entre el empirismo y el relativismo en el pensamiento de Collins, véase Laudan (1982). Para una crítica del argumento desde la sociología de la ciencia, véase Knorr-Cetina (1982).

autor explica en qué radica la diferencia, ni cuál es el nexo entre ambas. Tal es el caso de Hans Radder, quien tras haber citado ambas versiones, afirma:

Estas dos formas de poner en cuestión el poder (dis)confirmatorio de la replicación llevan a dos formulaciones diferentes del regreso del experimentador, ambas presentes en el libro de Collins, aunque no son distinguidas explícitamente. (Radder, 1992, p. 67).

Pero, ¿Qué debemos entender aquí por *diferente*? ¿Cuál es el vínculo, si lo hubiera, entre las dos formulaciones? La sección siguiente tiene por objeto abordar este problema.

3.4 Los presupuestos del argumento

Presentaré continuación las premisas que le permiten a Collins concluir que la decisión respecto de la corrección de un resultado obedece a razones exclusivamente externas.

En el segundo capítulo de *Changing Order*, Collins analiza los diversos modos de satisfacer el criterio de intersubjetividad en la práctica científica y los problemas que se presentan al intentar cumplir con tal requisito. He aquí una reconstrucción de las ideas contenidas en dicho capítulo:

- (1) Un resultado experimental, para ser científicamente significativo debe poder repetirse, existiendo diversos medios para la consecución de tal fin:
 - a- La repetición en la misma realización material, esto es, por sucesivas secuencias experimentales llevadas a cabo con el instrumento original.
 - b- Por medio de la replicación del equipo original, esto es, realizando copias del instrumento.
 - c- Por confirmación independiente, es decir, valiéndose de instrumentos cuyo funcionamiento esté basado en principios físicos diferentes.³⁶

³⁶ En su investigación Collins omite el caso de instrumentos del mismo tipo –de hecho el caso más usual en las ciencias empíricas– que no pueden entenderse como copias puesto que contemplan ciertas variaciones que permiten incrementar su sensibilidad respecto del original. Volveremos sobre este punto en la conclusión esbozando criterios que nos permitirán esclarecer la expresión “mismo tipo que” “copia” “réplica” y expresiones ligadas a estas.

(2) Los modos anteriormente mencionados para repetir un resultado experimental no son equivalentes respecto del grado de (dis)confirmación que proveen. Ello es así por las siguientes razones:

a- Las secuencias sucesivas en un mismo aparato no aportan evidencia respecto de la significación del resultado. Dice Collins, retomando a Franklin y Howson (1984):

Para que un experimento constituya un *test* de otro anterior, no debe ser, exactamente el mismo, pero tampoco muy diferente. Tómese un par de experimentos –uno que origine un nuevo resultado y un experimento subsiguiente. Si el segundo experimento es demasiado similar al primero, no agregará ninguna información confirmatoria. El caso extremo en el que cada aspecto es literalmente idéntico al primero, no es siquiera un experimento separado. En estas circunstancias, el segundo experimento no significará más que la lectura del informe experimental una segunda vez. (Collins, 1985, p.34).

Sin embargo, el autor acepta que:

En un área poco comprendida, los científicos (...) no son capaces de garantizar que los resultados serán los mismos y entonces la observación de estos resultados sí agrega confirmación (Collins, 1985, p. 35).

b- La replicación es problemática cuando se desconocen las posibles fuentes de error que pueden enmascarar o simular el fenómeno que se investiga. Dice al respecto:

En ausencia de un conjunto bien establecido de variables relevantes, cualquier cambio en la situación experimental, sin importar cuán trivial en apariencia, bien puede implicar cambios significativos, aunque invisibles, en las condiciones (Collins, 1985, p. 35).

c- La contrastación independiente, si bien permite confirmar un resultado, no es aplicable como medio para disconfirmarlo, dado que podrían omitirse elementos relevantes que incidieran en la detección por la vía original.

Si el segundo experimento no provee el resultado pretendido, diferencias en el diseño entre el primero y el segundo pueden ser invocadas como la causa de la falla. (Collins, 1985, p.36).

(3) Teniendo en cuenta que no toda forma de contrastación de una afirmación suministra un grado equivalente de confirmación o disconfirmación de la proposición en cuestión, no todos los medios anteriormente mencionados son vías legítimas para la confirmación o disconfirmación del resultado original.

(4) Llegado a este punto, Collins concluye que el único medio legítimo para disconfirmar un resultado, al menos en investigación de frontera, es la replicación.

La fuerza de la disconfirmación asciende en tanto el segundo experimento se aproxima a la identidad con el primero (Collins, 1985, p. 36).

(5) Ahora bien, dado que la replicación involucra *conocimiento tácito*, no es posible ofrecer en un conjunto finito de pasos, instrucciones para obtener una replica del diseño original.

La habilidad experimental tiene el carácter de un talento que sólo puede ser adquirido y desarrollado con la práctica. En tanto es un talento, no puede ser completamente explicado o absolutamente establecido. [...] La habilidad experimental es invisible en su pasaje y en aquellos que la poseen (Collins, 1985, p. 74).

(6) Acto seguido, el autor indica que el funcionamiento correcto del instrumento replicado sólo puede determinarse a partir de la producción del resultado correcto. Sobre este punto afirma:

El funcionamiento del aparato, partes del aparato y el *experimentador* son definidos por la habilidad de formar parte en la producción del resultado experimental correcto. Otros indicadores no pueden encontrarse. (Collins, 1985, p.74).

(7) Y sin argumentación alguna, Collins asume que, el resultado correcto sólo puede conocerse si se dispone de un instrumento que funcione correctamente, lo que nos conduciría al regreso antes presentado.

(8) Finalmente, la ausencia de criterios de competencia³⁷ respecto del funcionamiento del aparato y del resultado correcto, haría recaer la aceptación de un resultado experimental en factores externos a la práctica científica.

Estamos ahora en condiciones de afirmar cuál es el nexo entre las dos formas del regreso. En primer lugar (II) supone que el único medio lícito para la contrastación de un resultado experimental es la replicación, como se sigue de las premisas 1 a 4. Por ende, para que (II) sea verdadera, (I) también debe serlo, ya que en (I) se establece que es la replicación el único medio para la reproducción de un resultado experimental. Asimismo para que a partir de (I) se deriven conclusiones externalistas, debe asumirse que el único modo de juzgar el resultado correcto es a partir de un instrumento que funcione correctamente, y con ello se presupone la verdad de (II). Es decir, que (I) sería verdadera, sólo en caso de que (II) también lo sea.

En consonancia con lo dicho, una nota al pie de página muestra la relación entre ambas presentaciones:

(III) El regreso del experimentador ocurre cuando la replicación experimental se utiliza para contrastar una afirmación controvertida. El criterio usual de ejecución exitosa de una habilidad experimental –un resultado en el rango correcto– está ausente, porque la naturaleza del resultado correcto es exactamente lo que se cuestiona. De modo tal que los experimentadores, pueden discutir indefinidamente sobre la pregunta de cuál experimento fue realizado adecuadamente. La respuesta a esa pregunta proporciona la respuesta a la pregunta sobre el resultado correcto para tales experimentos. Pero la única forma de decidir qué experimento fue realizado adecuadamente, es decidir cuál es el resultado correcto, y entonces ver qué experimento lo produjo. De allí el regreso. (Collins, 2001, p.84).

³⁷ En el caso en que los diversos equipos de investigación obtengan resultados discordantes, el problema es qué tipo de criterio puede aplicarse para decidir qué experimento, si alguno, produjo el resultado correcto. Según Collins, no podemos establecerlo por (6) de modo que la elección entre resultados rivales se torna arbitraria según muestra (8).

En la reconstrucción del argumento encontramos dos conceptos en los que habremos de detenernos: en primer lugar el concepto de *replicación*, y relacionado con éste, la *habilidad práctica* que según Collins involucra *conocimiento tácito*. Si el único modo de contrastar un enunciado experimental reside en replicar el experimento que da origen a dicha afirmación, si a su vez el conocimiento tácito es un componente de todo experimento, intransferible puesto que no es reconocido como relevante por los mismos experimentadores, y debido a la ausencia de criterios internos que permitan dirimir qué instrumento funciona correctamente, la polémica respecto del resultado se resolvería apelando a elementos externos. Con base en todo lo anterior, Collins concluye que:

[La] aparente replicabilidad o no [de un resultado], que es la conclusión de tales experimentos, realmente no es una cuestión del experimento. (Collins, 1985, p.20).

3.5 Cuatro respuestas posibles al desafío escéptico

Esta presentación del *ARE* define la siguiente agenda de problemas a tratar: En primer lugar, debe considerarse si la replicación es, tal como parecerían implicar las afirmaciones de Collins, el único medio legítimo para disconfirmar un resultado experimental. En segundo lugar, debe evaluarse si acaso el conocimiento tácito es intransferible entre equipos de investigación. Finalmente, es preciso estudiar sí, efectivamente, no existe otro modo de juzgar el buen funcionamiento de un instrumento o diseño experimental más que la producción del resultado correcto, o bien si no es posible estimar el resultado correcto a partir de criterios independientes al buen funcionamiento del detector. De este modo, quedan delineadas las diferentes estrategias mediante las que la regresión al infinito en la práctica experimental podría evitarse. El regreso se evitaría si podemos probar alguna de las siguientes tesis:

- 1- La replicación no es el medio exclusivo para la contrastación de una proposición experimental.
- 2- Aun si la replicación fuese la única vía para la contrastación, el conocimiento tácito puede ser transferido entre investigadores.

- 3- Aun si la replicación fuese la única vía para la contrastación de afirmaciones controvertidas, el resultado correcto puede establecerse con criterios independientes al funcionamiento de los instrumentos de detección.
- 4- Aun si la replicación fuese la única vía para la contrastación y el resultado correcto sólo pudiese conocerse con un detector que funcione adecuadamente, el buen funcionamiento de este último puede determinarse por un medio diferente del de la producción del resultado correcto.

De las cuatro formas de evitar el regreso, podríamos asumir que Allan Franklin adopta, en diferentes artículos, la última de las propuestas mencionadas. En el próximo capítulo analizaremos como se evitaría el regreso de acuerdo con sus ideas, retomando las estrategias epistemológicas presentadas en el segundo capítulo, y presentaremos objeciones para la solución que formula. En el quinto capítulo, evaluaremos las restantes opciones presentadas y la solución que consideramos acertada.

CAPÍTULO 4

4.1 Introducción

La respuesta de Allan Franklin al *ARE*, presentado en el capítulo anterior, es ante todo, la respuesta de un historiador de la ciencia que, para oponerse a las conclusiones de Collins se vale de la reconstrucción de un caso científico, en particular, del caso representativo al que el mismo Collins apela para ilustrar su tesis. Es por ello que no debemos esperar una discusión respecto de los supuestos del argumento filosófico de corte escéptico que el sociólogo esgrime, sino, por el contrario el bloqueo de las conclusiones de tal argumento.

Queda desde luego a criterio del lector la reflexión respecto de la validez y el alcance que el análisis de un caso histórico pueda suministrar al momento de decidirse respecto de la racionalidad en la práctica científica, y, aunque no nos detendremos en el problema, consideramos relevante al menos señalarlo. Si bien podríamos afirmar que un caso negativo, permite refutar una generalización universal, también es claro que el historiador de la ciencia tomando como punto de partida un conjunto de datos empíricos, tiene a su disposición un sinnúmero de interpretaciones posibles, y la elección de una de ellas difícilmente pueda considerarse neutral. Las reconstrucciones racionales nunca son ingenuas. En ese sentido, tanto Franklin como Collins son víctimas del error: el primero pretende la incuestionabilidad de su reconstrucción histórica, mientras que el segundo, realiza una inducción apresurada al trasladar los resultados del análisis de un caso particular a la ciencia toda.

Hecha la aclaración, el plan de este capítulo es el siguiente: en primer lugar, intentaremos elucidar a partir de las observaciones de Franklin al *ARE*, su posición respecto de las diferentes premisas del argumento, para luego pasar a evaluar su propuesta concreta respecto de las conclusiones del mismo. Finalizaremos discutiendo algunas dificultades en su abordaje del caso y su respuesta a Collins.

4.2 Su interpretación del ARE

Resultará oportuno comenzar esta sección citando la lectura que Franklin realiza del argumento que nos convoca, por cuanto será la misma el punto de partida en nuestro análisis de la respuesta que provee al desafío relativista en la ciencia experimental. En un artículo dedicado puntualmente a la crítica del argumento, afirma:

El argumento de Collins puede resumirse como sigue: no hay criterios rigurosos e independientes ya sea para un resultado válido como para un buen instrumento experimental; todos los intentos de evaluar el instrumento dependen de los resultados del experimento. Esto conduce al regreso del experimentador en el que un buen detector puede ser definido sólo por la obtención del resultado correcto, mientras que un resultado correcto se obtiene utilizando un buen detector. [...] En la práctica, el regreso se detiene por la negociación en la comunidad científica, pero la decisión no se basa en lo que podríamos llamar criterios epistemológicos. Esto siembra dudas no sólo en el carácter de la evidencia experimental, sino en su misma validez. Por ello, la evidencia experimental no puede proveer las bases para el conocimiento científico. (Franklin, 1998, p.155).

Según hemos sostenido en el capítulo precedente, podemos distinguir dos versiones del argumento. Franklin, en su lectura, se detiene específicamente en lo que hemos señalado como versión (II), en la que los conceptos de replicación y conocimiento tácito no aparecen enunciados explícitamente, pero se los supone. Al centrarse en esta formulación del argumento, el autor concede que la replicación es el medio exclusivo para la contrastación de afirmaciones controvertidas. Si bien esta idea resulta a primera vista conflictiva con la epistemología del experimento que defiende a lo largo de sus trabajos, es preciso recordar que insistimos aquí en el caso particular de un experimento diseñado con el objeto de detectar un fenómeno nunca antes observado.

En el capítulo anterior, consideramos que Franklin asentiría a una de las posibles formas de evitar el regreso del experimentador. Teniendo en cuenta que el autor no es explícito al respecto, esta sección tiene como objetivo analizar los fundamentos de tal atribución.

Reproducimos a continuación la cuarta forma de quiebre del regreso:

(4) Aun si la replicación fuese la única vía para la contrastación y el resultado correcto sólo pudiese conocerse con un detector que funcionase adecuadamente, el buen funcionamiento de este último puede determinarse por un medio diferente del de la producción del resultado correcto.

Esta idea se desprende por ejemplo de la siguiente cita:

El cuestionamiento [sobre los resultados que Weber obtuvo] no involucraba la adecuación del detector, sino, por el contrario, si el detector funcionaba correctamente y si los datos se estaban analizando apropiadamente. (Franklin, 1999, p. 245).

En otro de sus trabajos afirma, siguiendo la misma línea:

Como veremos, en esta controversia, la pregunta crucial no era qué constituía un buen detector de ondas gravitatorias; todos los experimentos, de hecho utilizaban variantes de la antena diseñada por Weber. Por el contrario, la inquietud residía en si el detector funcionaba correctamente y si los datos se analizaban apropiadamente. (Franklin, 1998, p. 155).

Tales afirmaciones son indicadores de los aspectos que Franklin considera relevante discutir en este episodio. Aquello que para Collins resulta vital para comprender las razones del rechazo de los resultados publicados por Weber -y que resulta más claramente expuesto en la formulación (I) antes presentada- difiere sustantivamente de los elementos que Franklin asume como problemáticos en este caso. En ambas citas deja claro que la controversia no radica en inquietudes respecto de la similitud entre los detectores, desembarazándose con ello del problema de la replicación, la identidad funcional entre los instrumentos y de la transmisión de conocimiento tácito que señalamos anteriormente.

Si bien Franklin parecería aceptar la premisa (4) de nuestra reconstrucción del argumento del regreso del experimentador, es decir, que el único medio legítimo para disconfirmar un resultado en investigación de frontera es la replicación, se negará a asumir que la determinación del buen funcionamiento del instrumento pueda establecerse

solamente por los resultados que el mismo provee, con ello, estaría negando la premisa (6), como podemos colegir del siguiente párrafo:

Collins podría correctamente argumentar que el caso de las ondas gravitatorias es un caso peculiar, en el que un nuevo tipo de instrumento se utiliza para detectar una cantidad nunca antes observada. Estoy de acuerdo. Pero no acepto que no puedan presentarse argumentos concernientes a la validez de los resultados o que los méritos relativos de dos resultados no puedan ser evaluados independientemente de la *salida* de los dos experimentos. (Franklin, 2005, p. 201).³⁸

Dicho esto, estamos ya en condiciones de exponer y evaluar la propuesta de Franklin que tiene por objetivo negar la premisa (6) del argumento partiendo de consideraciones fundamentalmente históricas.

4.3 El análisis del caso de las ondas gravitatorias: las razones del rechazo

Franklin asume que si es válido el *ARE*, la repercusión en la ciencia experimental es la ausencia de racionalidad. Según su apreciación, si no es posible constatar la corrección del resultado de un experimento, la aceptación del mismo obedecerá meramente a caprichos sociales y tendencias volubles en el seno de la comunidad científica. Y más aun, dado que el polo experimental provee la base empírica que permite la elección sopesada de teorías en pugna, la irracionalidad trasuntará la ciencia toda. Franklin apela entonces a anular tales consecuencias preguntándose si el rechazo de los resultados de Weber está fundamentado o requiere acaso para comprenderse la apelación a factores sociales. Por medio del análisis del caso en cuestión pone de manifiesto una serie de elementos que los científicos involucrados en la investigación han considerado relevantes. A continuación detallaremos y discutiremos los principales elementos que Franklin expone con el fin de defender la decisión criteriosa respecto del estatus de los resultados provistos por Joseph Weber. Si seguimos las afirmaciones que los científicos contemporáneos a Weber consideraron

³⁸ Sin embargo, cabe destacar que la estrategia de Collins consiste precisamente en homologar el caso de las ondas gravitatorias a toda empresa experimental. (cf. por ejemplo, Collins y Pinch (1993), p. 77 y Collins (1985), p. 4)

estímulos para la investigación en el campo de la radiación gravitatoria hallaremos entre ellas:

- 1- La captación simultánea de señales en dos detectores alejados.
- 2- El efecto anisotrópico de las señales detectadas.

Ambas fueron razones poderosas para sumar a otros investigadores al área, dado que manifestaban regularidades en los datos que volvían improbable que los mismos fueran meramente ruido o fluctuaciones aleatorias en el tratamiento estadístico. A continuación conoceremos la suerte que corrieron las dos armas principales de Weber al momento de sostener sus *descubrimientos* en el seno de la comunidad científica.

En el capítulo dos del presente trabajo, expusimos y comentamos una serie de criterios que permitirían la aceptación fundamentada de un resultado experimental. En esta sección apelaremos a ellos para ilustrar el camino de constitución de la evidencia y su caída, o dicho en sentido contrario, la acumulación de evidencia por parte de los críticos de Weber. Siguiendo las estrategias mencionadas, el apartado 4.3.1 estudia la apelación a las propiedades de los resultados para argumentar en función de su validez. El apartado 4.3.2 se detiene en los resultados coincidentes de los críticos de Weber y en conflicto con sus hallazgos. La sección 4.3.3. explora los criterios utilizados en la selección de las técnicas de análisis de datos y en el establecimiento del umbral de detección. Finalmente, el apartado 4.3.4 contempla la evaluación de los instrumentos utilizados, destacando los métodos de calibración de las antenas y la relación entre el aumento de sensibilidad de los detectores y las señales registradas.

4.3.1 La evidencia se desvanece

- 1- La desaparición de la coincidencia entre dos detectores

Al introducir el caso de las ondas gravitatorias en el capítulo anterior señalé diferentes elementos que podían considerarse de carácter evidencial. Uno de ellos era la coincidencia temporal en el registro de picos entre dos detectores situados a gran distancia –el primero de ellos ubicado en la Universidad de Maryland y el segundo en la Universidad de Rochester, situada en Nueva York. Los mismos estaban separados entre si por

aproximadamente 1000 kilómetros. Weber afirmaba haber detectado 78 coincidencias entre ambos detectores en un intervalo temporal determinado, dando el análisis de estas coincidencias una desviación estándar de 2.6^{39} , lo que significa que una relación tal podría producirse por azar sólo una vez en cien. Ello permitía inferir que el pico registrado era una señal genuina, producto de una fuente común y dando un paso más en la interpretación de los datos, era esperable afirmar que las coincidencias obedecieran a la detección de una onda gravitatoria y no simplemente el registro de ruido. Sin embargo, como afirma Franklin (cf. Franklin, 2002, p. 55), la coincidencia en el registro de los datos fue producto de un error, por cuanto existía una diferencia de 4 horas entre los registros de ambos detectores. El procesador que analizaba las coincidencias entre los instrumentos, no estando bien programado, no unificaba el marco de referencia temporal. Los investigadores de la Universidad de Rochester, entre ellos David Douglass, utilizaban, como es habitual, la hora de Greenwich (GMT), para llevar sus registros; Weber por su parte, tomaba como referencia el tiempo local de Maryland. (EDST).⁴⁰

La ausencia de unificación de la referencia temporal condujo a Weber a tomar como simultáneas señales que en rigor se produjeron con cuatro horas de diferencia. Dicho de otro modo, Dado que $GMT = EDST + 4 \text{ Hs}$, si una señal traspasa el umbral a las 10 A.M según el tiempo de Maryland, entenderemos que existe una coincidencia sólo si los registros del detector de Rochester muestran también un pico a las 14 P.M.

2- La desaparición de la correlación sideral

En el último artículo publicado durante 1970 (cf. Weber, 1970b) Weber afirmaba que las señales detectadas presentaban un efecto anisotrópico según los registros tomados en el transcurso de siete meses. La anisotropía de un conjunto de señales es un signo de que las mismas están siendo generadas en un lugar privilegiado del espacio, a diferencia de las señales isotrópicas que provienen por el contrario desde toda dirección, o desde cualquier dirección, sin destacarse tendencia alguna. Ahora bien, ¿Porqué deberían las ondas gravitatorias ser anisotrópicas? Para responder esto recordemos la distinción que realizamos

³⁹ Recordemos lo dicho en el capítulo dos respecto del *puntaje z*.

⁴⁰ GMT: Greenwich Mean Time. EDST: Eastern Day Saving Time.

en el capítulo anterior. Es posible diferenciar dos tipos de radiación gravitatoria: la producida por fuentes continuas como el *big-bang* y la producida por eventos puntuales, como por ejemplo, los colapsos de Supernovas que dan origen a radiación de carácter discreto. En el primer caso, no habría razón alguna para esperar periodicidad en las señales captadas; en el segundo, por el contrario, tratándose de eventos violentos y ubicados espacio-temporalmente, la radiación estará dirigida y es predecible que haya ciertas posiciones del detector que sean más sensibles a la captación de la misma. Si suponemos que la fuente de las ondas detectadas es el centro de la galaxia, como pretendió Weber en el artículo antes mencionado, teniendo en cuenta la ubicación del detector en la superficie terrestre, la rotación de la Tierra sobre su eje, la traslación de la tierra alrededor del Sol, y que el detector es más sensible en los momentos en que su posición es perpendicular a la fuente⁴¹, podremos predecir qué periodicidad debe manifestar la señal si es producto de la radiación gravitatoria emitida, por ejemplo, por un par de estrellas de neutrones ubicadas en el centro de la galaxia.

Weber afirmó que los picos registrados manifestaban una periodicidad de 24 horas. Pero dado que la Tierra es transparente a la radiación gravitatoria -justamente de tal característica se derivan las dificultades del experimento- la evidencia presentada por el científico constituye nuevamente un error, ya que la periodicidad debería encontrarse cada 12 horas, en los momentos del día en que el detector se orienta normal a la fuente emisora. Las horas en que la periodicidad se esperará dependerán a su vez, desde luego, del momento del año solar, ya que la posición de la Tierra respecto del centro de la galaxia se modificará conforme orbite en torno al Sol.⁴²

Por lo dicho entendemos que la anisotropía de las señales representaba un fuerte argumento para descartar que las mismas fueran producidas en el laboratorio en el caso del mal funcionamiento del instrumento o a raíz de perturbaciones sísmicas locales. Sobre el valor de esta correlación, James Levine dice:

Cuando relacionó las señales con el tiempo sideral por un período de siete meses, encontró un pico en el momento en que el eje más sensible de la antena estaba dirigido

⁴¹ Teniendo en cuenta que lo que sigue no requiere entender las razones por las cuales el instrumento es más sensible en dicha posición, omito la explicación correspondiente, que técnicamente compleja, desviaría la atención del lector del problema central que aquí tratamos sin redundar en una mejor comprensión del mismo.

⁴² Para una explicación detallada de la correlación sideral véase Collins, (2005), p. 91 y ss.

hacia el centro de la galaxia, mientras que no encontró pico alguno al relacionar los mismos datos con el tiempo local. [...] Ciertamente, esta fue la afirmación más persuasiva de la detección de ondas gravitatorias de origen extra-terrestre. Como he dicho antes, esta afirmación fue probablemente la responsable de convencer a muchos experimentalistas a sumarse a la investigación. (Levine, 2004, p. 49).

Sin embargo, como hemos visto, la anisotropía esperable para el caso debía reflejarse en una periodicidad de doce horas y no de veinticuatro, como pretendió Weber. Más allá de este error, y a pesar de la importancia de esta correlación, los artículos posteriores del físico, presentando nuevos datos, dejaron de exhibir la periodicidad. A modo de justificación, afirma en un artículo publicado en la revista *Nature*:

Efectos pequeños en el entorno local pueden afectar la anisotropía de manera significativa. Para calcular esto, se requieren al menos seis meses de registros. Las cintas consideradas aquí no tienen la continuidad requerida. Algunas lagunas y problemas en la grabación impiden el estudio de la anisotropía. (Weber, 1972, p.30).

Con ello, uno de los elementos de mayor fuerza probatoria desaparecía, tras lo que podemos entender como una justificación meramente *ad hoc*.

4.3.2 La acumulación de observaciones en conflicto

Hasta aquí nos hemos detenido en aquellos elementos de mayor poder corroboratorio, que tomamos como responsables de los intentos de otros grupos de científicos para sumarse a la investigación. Antes de que la *evidencia* aportada se considerase espuria, diversos grupos comenzaron a publicar resultados en conflicto con los que Weber había presentado. Se suma entonces a lo que hemos llamado *desvanecimiento de la evidencia*, un conjunto de resultados negativos que comentaremos a continuación y una serie de errores que Weber cometiera que se añaden a los anteriormente expuestos.

3- La ausencia de corroboración por parte de otros grupos de investigación autónomos.

Diversos grupos, tras la publicación en 1970 de la correlación sideral, construyeron detectores de ondas gravitatorias. Entre ellos podemos citar a: Garwin y Levine en IBM,

David Douglas en el laboratorio Bell, en Rochester, quien colaboró estrechamente con Weber intercambiando datos para el análisis y buscando coincidencias en las señales obtenidas por sus respectivos instrumentos; en Glasgow: R. Drever, J. Hough, R. Bland y G. Lessnoff; en Munich-Frascatti: H. Billing, P. Kafka, K. Maischberger, F. Meyer y W. Winkler. Así mismo, en Tokio y en Moscú, diversos experimentalistas se sumaron a la investigación. De los seis grupos de trabajo mencionados, ninguno halló señales que pudieran atribuirse a ondas gravitatorias.

Veamos las conclusiones de Franklin respecto de los resultados negativos:

Resumamos la situación evidencial concerniente a las ondas gravitatorias a comienzos del año 1975. Los resultados eran discordantes. Weber reportó resultados positivos, mientras que otros seis grupos no reportaron evidencia para la radiación gravitatoria. Los resultados de los críticos no sólo eran más numerosos, sino que además habían sido intercambiados y chequeados cuidadosamente. Los grupos intercambiaron tanto los análisis de datos como los programas para efectuar tales análisis y confirmaron los resultados [negativos]. (Franklin, 1999, p. 247).

Cabría preguntarse si acaso, siguiendo la línea de pensamiento que propone Collins, la cantidad de resultados negativos reportados es un argumento que pueda perjudicar los hallazgos de Weber. Ello vuelve a recordarnos los problemas que se suscitan al momento de afirmar que un instrumento es o no una réplica del original. De hecho, respecto del carácter refutatorio de los resultados obtenidos por los restantes grupos, Levine advierte lo siguiente:

En 1975, David Douglass, Tony Tyson y sus colegas, dieron a conocer un experimento en el que se buscaban coincidencias entre dos detectores que eran similares al diseñado por Weber, pero que empleaban antenas mucho más largas y pesadas (de 4 toneladas) cuya resonancia se producía a 710 hertz. La masa extra tenía por objeto aumentar la sensibilidad del detector, permitiendo la detección de señales más débiles. [...] Sin embargo, la frecuencia menor en la que trabajaron, disminuyó la significación del resultado nulo que obtuvieron, dado que no existía una forma convincente de extrapolar los resultados de ambos experimentos. (Levine, 2004, p. 60).

Lo mismo señala respecto del experimento llevado a cabo en Glasgow:

[P]ero en siete meses de registros hallaron sólo una coincidencia con baja probabilidad de ocurrir por azar. Nuevamente, sin embargo, la significación del resultado nulo pierde valor por las importantes modificaciones que introdujeron en las antenas y en el sistema de procesamiento de datos. (*Idem*, p.61).

Volveremos sobre este problema en el próximo capítulo del trabajo.

4.3.3 La selección tendenciosa

4- El problema de la elección de la técnica para el procesamiento de las vibraciones en el instrumento.

Cuando una onda gravitatoria impacta en un detector, produce una vibración que debe ser amplificada y procesada. Existe entonces asociada a la antena, un sistema que permite transducir lo captado, un procesador que convierte y amplifica la señal proveniente de la radiación en un pulso susceptible de registrar. Así como en las comunicaciones telefónicas, en las que las ondas sonoras emitidas por la fuente emisora son transducidas en señales eléctricas que vuelven a transducirse a vibraciones sonoras en el receptor, las vibraciones producidas en el detector son transducidas a señales eléctricas. Este componente del instrumento que posibilita el procesamiento de la señal es lo que se conoce habitualmente como *su electrónica*. En el caso que estudiamos, Weber apeló al procesamiento por medio de un demodulador cuadrático (no-lineal), mientras que los restantes equipos utilizaron procesadores lineales.

Toda onda se caracteriza por su amplitud, su fase y su frecuencia. El impacto de la radiación gravitatoria en un detector, que como señalamos anteriormente es básicamente un oscilador armónico, perturbará su estado de oscilación, añadiendo energía a la ya presente en la antena y modificando ya sea la amplitud, la fase o ambas simultáneamente en la salida del detector.

Existen dos tipos de procesadores de señales: los cuadráticos y los lineales. El primero, utilizado por Weber, detecta únicamente cambios en la amplitud de la señal registrada. El procesador lineal, por el contrario, permite estudiar tanto la variación en la amplitud como

en la fase. Todos los investigadores, excepto Weber, utilizaban el procesador lineal, explicando que el algoritmo no-lineal no permite separar correctamente la señal del ruido, y que inclusive permite que señales de otras frecuencias interfieran en la detección. Levine por ejemplo considera que el demodulador no-lineal:

Hace imposible medir la fuerza de la señal de la radiación gravitatoria excepto si ésta es mucho mayor que el ruido. (Levine, 2004, p.53).

Según Franklin, la elección del modo de procesamiento de las señales fue sesgada. Dice al respecto:

[...]Weber prefirió el algoritmo no-lineal. Su razón para esto residía en que proporcionaba una señal más significativa que el algoritmo lineal. [...] Weber enfatizó: “Claramente estos resultados [el hallazgo de altos flujos de ondas gravitatorias] son inconsistentes con la idea generalmente aceptada de que $x^2 + y^2$ [el algoritmo lineal] debe ser el mejor algoritmo.” Weber, de hecho, estaba utilizando el resultado positivo para decidir cuál era el mejor procesamiento de la señal. Estaba cambiando el procedimiento con el fin de maximizar el resultado. (Franklin, 2002, p.57).

Weber defendió su elección apelando a características especiales de las ondas gravitatorias que justificarían la elección del procesador cuadrático. Ello llevó a los restantes investigadores a procesar sus datos con ambos métodos de demodulación, obteniendo tanto con uno como con el otro resultados nulos.

Esto requiere una nueva cita de Allan Franklin:

Weber tenía una respuesta. Admitió que el algoritmo lineal era más eficiente en la detección de pulsos de calibración, que eran pulsos cortos. Afirmó sin embargo, que la señal real de una onda gravitatoria era un pulso más largo de lo que la mayoría de los investigadores creían. Si la señal era más larga de lo esperado, entonces uno esperaría que esta apareciese cuando los críticos procesaron sus datos con el algoritmo no-lineal. Cosa que no sucedió. (Franklin, 1999, p. 247).

5- Variación del umbral en el análisis de los datos obtenidos.

Otro elemento problemático y cuestionable en la conducción del experimento en Maryland residía en el establecimiento del umbral a partir del cual una señal se podría interpretar como la captación de una onda gravitatoria. La elección del umbral, si bien supone una decisión, no es caprichosa; de lo que se trata aquí es de hallar un punto –un valor en una escala- en el cual la energía de la barra sea causada no sólo por perturbaciones locales (ruido térmico, sísmico y electromagnético, entre otros). Si el umbral es muy elevado, se corre el riesgo de no tener en cuenta cambios en los registros que puedan ser producto de ondas gravitatorias, si, por el contrario, el umbral es bajo, se tomarán como ondas, cambios que son tan sólo accidentales. El dilema reside en qué hemos de privilegiar: si ser víctimas de un error de tipo I, es decir, obtener un falso positivo por establecer un umbral muy bajo, o cometer un error de tipo II, en el que un falso negativo se produce por fijar un umbral alto de detección.⁴³ Más allá de la complejidad involucrada en la elección del umbral, es de esperar que, una vez precisado, el mismo permanezca constante en la toma de registros. Una de las críticas al trabajo de Weber tuvo que ver con el hecho de publicar histogramas sin especificar el valor del umbral, pudiendo entonces modificarlo sólo con el propósito de maximizar la señal buscada. (cf. Franklin, 2002, p.59 y ss.).

4.3.4 La evaluación de los instrumentos

6- La calibración de los detectores

Otro de los aspectos que Franklin entiende como cuestionable –si bien no decisivo- en el experimento de Weber tiene que ver con la ausencia de calibración de los instrumentos utilizados por el equipo de Maryland (cf. Franklin, 1999, p. 244 y ss.). Según su investigación, el instrumento de Weber no era capaz de detectar los pulsos de calibración, mientras que los restantes equipos calibraban sus aparatos de medición en cada toma de datos. Esto, sin embargo, no es tan claro. En primer lugar, Sinsky, colaborador de Weber en los primeros años de la investigación, diseñó un complejo sistema de calibración con un emisor de ondas gravitatorias, es decir un dispositivo similar al instrumento original, pero

⁴³ La clasificación de errores a la que aludimos es propia de la estadística clásica. Para el caso que estudiamos, el error de tipo I –un falso negativo- se produciría al establecer un umbral elevado si efectivamente existen ondas gravitatorias y el detector funciona correctamente. El error de tipo II –un falso positivo- ocurriría por el contrario, al fijar un umbral bajo, si no existen ondas gravitatorias.

montado sobre un eje rotatorio. Teniendo en cuenta que la fuente de ondas es conocida, puede calcularse teóricamente lo que debería detectar un equipo que funcionase apropiadamente (cf. Weber, 1960). Desde luego, la calibración por este sistema se realizó antes de comenzar a registrar datos, y por sus características, no puede utilizarse en cada nueva toma de registros. El resto de los equipos, por el contrario, apelaron a la calibración en tiempo real pero partiendo de la introducción de pulsos acústicos. Detrás de tal decisión hay un supuesto fuerte respecto de las características de las ondas gravitatorias y su similitud con las ondas acústicas. Como indica Franklin:

En situaciones ordinarias, el fracaso de la calibración en el experimento de Weber, hubiese sido decisivo. Pero dado que el episodio es atípico –en el que se utiliza un nuevo tipo de aparato para buscar un fenómeno nunca observado, el problema de la calibración no fue concluyente. Se requirieron y proveyeron otros argumentos para resolver el conflicto. (Franklin, 2002, p.64).

Respecto de la calibración en este episodio existen dos problemas asociados. El primer problema radica en la elección del tipo de pulsos que se utilizarán para calibrar el instrumento y la semejanza de los mismos con las ondas gravitatorias, con ello, surgen dudas respecto de la importancia de detectar los pulsos de calibración, puesto que si las señales no son similares, la calibración no será indicador del buen funcionamiento del instrumento. El segundo problema reside en el método para amplificar las señales y su incidencia en la detección de pulsos de calibración. El sistema de demodulación de señales preferido por Weber no era capaz de registrar los pulsos acústicos de calibración, mientras que el procesamiento de las señales por medio del algoritmo lineal captaba claramente el pico proveniente de las ondas introducidas.

7- El aumento de la sensibilidad del detector sin la consecuente modificación de la proporción entre ruido y señal.

Por último, mencionaremos –aunque no nos detendremos en ello- que una de las críticas al experimento de Weber y a la pertinencia de los resultados del mismo se relacionó con la proporción entre el ruido y la señal en el transcurso de las modificaciones de los aparatos utilizados. Es de suponer que, con el aumento de sensibilidad de un detector, será más

susceptible a señales genuinas, y estará a su vez, mejor preparado para filtrar el ruido en sus diversas formas. Sin embargo, esto no sucedió del modo previsto.

4.4 Conclusión

La reconstrucción histórica propuesta por Franklin del caso de las ondas gravitatorias en sus albores es, a nuestro juicio, acertada. Las razones del rechazo de las afirmaciones de Weber encuentran, tal como el autor pretendió mostrar, su fundamento en factores internos a la comunidad física, y coincidimos plenamente con él en su tratamiento de este aspecto del problema. La evidencia presentada por el físico no resistió el escrutinio de los críticos, los errores cometidos fueron numerosos aunque comprensibles dada la dificultad del experimento y teniendo en cuenta que Weber fue un pionero en el área. Lamentablemente, así como el reconocimiento de la comunidad científica hubiese sido la recompensa en caso de ser sus resultados sólidos, el fracaso de la investigación no pasó inadvertido, a punto tal que Weber ya no pudo publicar nuevos artículos en *Physical Review Letters*, que es una publicación específica de la comunidad física. De hecho los últimos trabajos que escribió sobre el tema, aparecieron en revistas como *Nature*, que si bien tan prestigiosa como la anterior es una publicación no especializada, para finalmente presentar sus resultados en revistas tales como *Scientific American* y *Physics Today* que, como es de conocimiento general, son básicamente divulgativas.

Pero, más allá de la coincidencia con Franklin respecto de las razones que incidieron en el rechazo de los resultados del científico, es preciso volver ahora a su trabajo con el fin de evaluarlo en tanto respuesta y posible refutación del *ARE*. Veamos primero qué pretende haber mostrado tras su estudio del episodio:

He argumentado que la afirmación de Collins respecto del papel desempeñado por el regreso del experimentador es equivocada. Él une la dificultad de hacer funcionar un experimento con la demostración de que funciona apropiadamente. Creo haber mostrado que los criterios epistemológicos fueron aplicados razonablemente para decidir entre los resultados de Weber y sus críticos. Si bien la calibración no fue concluyente en el caso de los detectores de ondas gravitatorias, es habitualmente un factor legítimo e importante y puede ser decisivo para determinar la validez de un

resultado experimental. *Tanto el argumento acerca de la imposibilidad de la replicación* como la ausencia de criterios para decidir la validez de resultados experimentales han fallado. La historia de los detectores de ondas gravitatorias no establece lo que Collins pretende. No hay razones para creer en el regreso del experimentador. (Franklin, 1998, p.16; subrayado nuestro).

En primer lugar, no es claro como pretende, el haber mostrado que la replicación es posible. De hecho, el autor da por sentado que todos los instrumentos eran “copias de la antena de Weber” (cf. Franklin, 1998, p.155). A mi entender, y aquí me permito disentir con Franklin, la inquietud filosófica que plantea Collins es altamente atendible, y aunque uno concediese que el episodio en cuestión tampoco le permite al sociólogo defender plenamente la imposibilidad de la replicación, por cuanto los elementos conflictivos se relacionaron en mayor medida con los errores en el tratamiento de los datos y no se presentaron objeciones respecto de los instrumentos, eso no implica que el regreso del experimentador no pueda suscitarse en la investigación de frontera. Aun con las limitaciones y objeciones que podamos esgrimir apelando a la práctica científica, el *ARE* pone de manifiesto un conjunto de problemas que buscaremos profundizar en el próximo capítulo de este trabajo.

Podemos, de todos modos entender la razón por la cual Franklin pretende haber mostrado la posibilidad de la replicación, teniendo en cuenta la definición que brinda del término en cuestión. Dice en una nota a pie de página:

Collins ofrece dos argumentos sobre la dificultad -o la imposibilidad virtual- de la replicación. El primero es filosófico. ¿Qué significa replicar un experimento? ¿En qué sentido una réplica es similar al experimento original? Una respuesta rápida es que la réplica mide la misma cantidad física. (Franklin, 1998, p.163).

Pero ello, aun como respuesta apresurada, o como esbozo, no es adecuada. Aceptar su definición nos llevaría a concluir que los detectores de ondas gravitatorias que funcionan basados en tecnología criogénica, dado que tienen por objeto medir también las vibraciones de un soporte físico frente al impacto de una onda gravitatoria, son réplicas de las antenas que Weber diseñó. Sin embargo presuponen teorías diferentes y están sujetos a diferentes

fuentes de error. Si redujéramos la replicación a la medición de una misma magnitud física, *resolveríamos* un problema a fuerza de perder profundidad y sutileza en el análisis.

Adjudicamos a Franklin, por otra parte, la afirmación de que el buen funcionamiento de un instrumento de detección puede juzgarse por un medio diferente a la producción del resultado correcto y en el análisis de su reconstrucción histórica hemos tenido la oportunidad de ver qué medios se utilizaron para lograrlo. Si bien en aquellos casos en que las señales son conocidas, la calibración puede resultar suficiente para establecer el buen funcionamiento de un instrumento, aceptamos que en éste tipo de situaciones científicas, el desconocimiento de las características de la señal buscada pone límites en la aplicación de la estrategia. Por tal razón, en este episodio, se ha evaluado el experimento de Weber *in toto*, quedando claro las falencias del mismo y consecuentemente de los resultados provistos.

Para concluir nuestra investigación, presentaremos a continuación una respuesta al *ARE*, en el que consideraremos las restantes formas en las que es posible evitar el regreso. En ese intento, evaluaremos el concepto de replicación, su relación con el conocimiento tácito y finalmente las opciones alternativas por las que un resultado correcto puede determinarse, opciones que pretenden enfatizar la dinámica entre la teoría y el experimento. En ese sentido nos alejaremos de la respuesta de Franklin apelando a la interrelación entre el ámbito teórico y el experimental en las ciencias fácticas, lo que a su vez nos llevará a debilitar el alcance de la tesis de la autonomía de la experimentación.

CAPÍTULO 5

5.1 Una Respuesta Filosófica al Argumento de Regreso del Experimentador

Comenzamos este trabajo señalando algunos de los problemas que deberían investigarse en detalle a fin de proveer un análisis filosófico de la experimentación en las ciencias naturales. Del conjunto de problemas detectados, la investigación se centró en el estudio de la objetividad de los resultados experimentales, intentando en primer lugar dar cuenta de las estrategias epistemológicas empleadas en la práctica científica, los límites de su aplicación y su valor en el momento de aceptar un resultado experimental. Nos detuvimos posteriormente en el desafío escéptico de Harry Collins analizando los argumentos que esgrime el autor. Luego expusimos y sometimos a la crítica la contrargumentación de Allan Franklin al *ARE*, encontrando algunas dificultades y ciertas lagunas filosóficas en su respuesta.

Dejamos pendientes a lo largo del trabajo una serie de preguntas que es preciso responder en esta sección. En el capítulo tercero, habíamos preguntado:

- 1) ¿Es la *replicación* el único medio para disconfirmar un resultado experimental? A continuación veremos por qué no lo es y por qué no puede serlo.
- 2) ¿Es el buen funcionamiento del instrumento de detección el único modo de establecer el resultado correcto? La respuesta en este caso también será negativa, para lo cual sugeriremos otras opciones que nos permitan a su vez, evaluar los recursos experimentales en juego y su adecuación.

Dar respuesta a la primer pregunta planteada requiere analizar el concepto de *repetición* en general. A ello nos abocaremos en el próximo apartado. La noción de *replicación* es definida en el apartado 5.2 donde se estudian sus vínculos con el conocimiento tácito. Respondemos a la segunda pregunta en la sección 5.3 en la que analizamos distintos recursos para establecer los resultados probables de la investigación y con ello, juzgar el funcionamiento de los instrumentos en esas situaciones.

5.2 Repetición, replicación, reproducción: algunas precisiones

La repetibilidad de los resultados experimentales se ha entendido tradicionalmente como la condición de posibilidad de la objetividad en las ciencias empíricas. El que los experimentos sean repetibles fue exigido como un *imperativo metodológico* de la práctica científica (Hones, 1990) y parece ya un lugar común aceptado de modo unánime, tanto por los filósofos de la ciencia como por la comunidad científica. Popper (1959) por ejemplo, en respuesta al llamado *trilema de Fries*, concedió que los enunciados básicos de la ciencia eran aceptados, si bien convencionalmente, sobre la base de la posibilidad de repetición de los efectos producidos en el transcurso de un experimento, ya que esto era lo que permitía la contrastación intersubjetiva de dichos enunciados, por su parte, Robert Merton (1977), entendió la repetibilidad como la norma de universalidad de la práctica científica, la indiferencia de la ciencia frente a las características de los investigadores y la trascendencia de sus logros frente a lo particular del contexto de producción de los mismos.

Sin duda alguna, la reproducibilidad de un resultado experimental es una condición que debe cumplirse para que el mismo adquiera significación científica. Concedido esto, el problema es determinar qué modos legítimos se aceptarían como medios para la reproducción de un resultado. La primera respuesta que puede esgrimirse es que un resultado experimental se reproduce por medio de la repetición del experimento original que lo produjo. Pero desde luego ésta, como toda respuesta tajante frente a cualquier inquietud filosófica, tiñe de certeza un aspecto que resulta extremadamente problemático para la epistemología de las ciencias naturales. Por ello, intentaremos en lo que sigue, esclarecer la noción de repetición señalando alguna de las dificultades en este análisis.

Como primer paso estableceremos algunas precisiones terminológicas: en lo sucesivo, a fin de lograr claridad en el tratamiento del tema reservaremos el término *reproducción* para referirnos a la obtención de un mismo resultado experimental y *repetición* como término general para aquellos procedimientos que, cumpliendo con las restricciones que mencionaremos en lo que sigue, se utilicen con el fin de reproducir un cierto resultado.

Dicho esto, proseguiremos aceptando que un resultado experimental cobra relevancia en la comunidad científica cuando es reproducible y, admitiendo esto, nos centraremos en los medios por los cuales un resultado experimental se reproduce. Con ello, buscamos

enfatar la diferencia existente entre la *reproducción de resultados* y la *repetición de experimentos*, para luego detenernos en las distintas formas por las que el primer objetivo puede lograrse. Finalmente analizaremos la noción de *replicación* por cuanto reside en ésta el foco de la crítica de Collins a la objetividad de los resultados experimentales.

A pesar de la importancia que este problema reviste para la filosofía de la ciencia, el concepto de repetición no ha sido investigado con el detalle requerido⁴⁴. De modo que, resulta preciso evaluar en principio, qué entendemos por *repetición* y si es posible ofrecer una clasificación que sea a la vez epistemológicamente fértil y descriptivamente adecuada, en el sentido de no contener clases vacías⁴⁵, permitiendo entonces recuperar aquello que efectivamente se realiza en la actividad científica. Propongo que reparemos inicialmente en lo siguiente: Dada la necesidad de reproducir un resultado experimental ¿A qué procedimientos podríamos apelar? Estudiaremos a continuación las diversas posibilidades para lograr dicho cometido.

Un resultado experimental puede reproducirse:

- 1- Repitiendo un mismo procedimiento con el equipo original.
- 2- Utilizando otro equipo diseñado para el mismo fin. En este caso, es posible que el instrumento:
 - 2.1- Mantenga constante el diseño experimental del equipo original y el cuerpo teórico presupuesto. Es el caso de la *replicación* de experimentos.
 - 2.2- Varíe en su diseño, en cuyo caso el bagaje teórico presupuesto puede:
 - 2.2.1- Permanecer constante. El experimento será del mismo *tipo* que el original.
 - 2.2.2- Modificarse. Las teorías presupuestas en el diseño del/los instrumentos involucrados se modifican respecto del original, con lo que estaríamos frente al caso de la *contrastación independiente*. Estos experimentos, al involucrar en su funcionamiento procesos físicos no relacionados y al presuponer teorías lógicamente independientes, si bien tienen alta incidencia al momento de validar un resultado experimental, no constituyen la repetición de un experimento, sino un nuevo procedimiento para medir una magnitud determinada.

⁴⁴ Cabe destacar aquí algunas excepciones: Franklin y Howson (1984), Hones (1990), Cartwright (1991) y Radder (1992).

⁴⁵ Radder (1992) propone una clasificación que pretende ser exhaustiva aunque gran parte de las clases son lógicamente posibles pero empíricamente imposibles.

Para los fines del presente trabajo, resulta imposible investigar en detalle cada uno de los modos de repetición que hemos señalado. Nos limitaremos a indicar algunos de los problemas que es preciso investigar al respecto, problemas metafísicos con repercusiones epistemológicas, reservando un espacio privilegiado a la noción de replicación.

En el caso de la reproducción de resultados apelando a las secuencias sucesivas en un mismo instrumento, es preciso recordar que éste como todo sistema físico, está sujeto al deterioro y por ello todo dispositivo, a fin de garantizar su correcto funcionamiento, debe ser sometido al reemplazo de sus partes. Ello nos recuerda el problema del barco de Teseo que adaptado al tema adopta la siguiente forma: ¿En qué medida, un experimento sigue siendo el mismo frente a la sustitución de sus componentes? ¿El reemplazo continuo de elementos dificulta acaso la comparación de los resultados en el transcurso del tiempo? Y dicha sustitución ¿Repercute en el valor científico de los resultados obtenidos?

Con respecto a los experimentos del mismo tipo en los que se prevé una modificación del diseño experimental -que, en general, tiene como objetivo el aumento de sensibilidad respecto del primer experimento- nos preguntamos: ¿Cuál es la máxima modificación admisible para que el segundo experimento pueda incluirse dentro de esta clase? Podríamos arriesgar aquí que una condición es que la variación del diseño experimental no involucre una modificación de los procesos físicos que tienen lugar en el experimento. Para ilustrar la noción de *mismidad tipológica*, recordemos la investigación de la tasa de neutrinos solares que hemos considerado en el capítulo dos de esta tesis. En ese caso, Gallex y Sage, experimentos diseñados para detectar neutrinos solares, llevados a cabo con posterioridad al experimento de Davis, serían repeticiones de este último, por cuanto tienen como objetivo la detección de neutrinos y si bien los diseños varían -fundamentalmente en lo que respecta a los reactivos utilizados, lo que a su vez permite detectar neutrinos de menor energía- la construcción de los detectores está regida por las mismas características atribuidas a las partículas en estudio -la interacción débil- y por las propiedades de los líquidos empleados, ya que en los tres experimentos, las moléculas del compuesto presente en el detector al colisionar con un neutrino, reaccionan formando una molécula radioactiva que puede ser aislada y contabilizada. Los experimentos no serían réplicas, por cuanto el diseño experimental se modifica, pero tampoco podrían ser clasificados como contrastaciones

independientes del experimento original, por cuanto no se cumple el requisito de independencia teórica ni el requisito de independencia del diseño experimental en los que el experimento se sustenta.

Entendemos que excede los límites del presente estudio dar cuenta de los problemas propios de cada caso de repetición, por lo que abordaremos en lo que sigue el concepto de replicación definiendo la noción en cuestión para luego evaluar en qué medida es posible en el marco de la replicación de experimentos transferir el conocimiento tácito, buscando dar respuesta a la primer formulación del *ARE* estudiada en el capítulo tres del trabajo.

5.3 La replicación de experimentos y el conocimiento tácito

Al finalizar el capítulo anterior, reprodujimos la definición que Allan Franklin propone para el concepto de replicación. Considera Franklin que dos experimentos son réplicas si se cumple que miden la misma magnitud física. Tal como afirmamos al citar al autor, entendemos que la medición de una misma magnitud si bien es una condición necesaria para que dos experimentos se consideren réplicas, de ningún modo es suficiente, como hemos mostrado en esa oportunidad y, como se desprende de la clasificación que presentamos, es una condición necesaria para la repetición en general y más aun, para la reproducción de todo resultado experimental.

Para el caso específico en el que se intenta reproducir un resultado experimental por medio de la replicación de un experimento, sumamos a la exigencia de medir una misma magnitud, la constancia en el diseño experimental y en el cuerpo teórico presupuesto. Entendemos que los tres requisitos son necesarios para considerar que un experimento es una réplica de otro. Sin embargo, no son suficientes dado que es posible que ambos experimentos los cumplan y sin embargo no sean réplicas más que aparentemente. Intentaremos a continuación contextualizar el problema de la replicación de experimentos, mostrando por qué los requisitos anteriores no bastan para definir este concepto y proponiendo una condición adicional que -entendemos- permitirá caracterizar de manera suficiente el término en cuestión.

Siguiendo la línea que proponemos respecto de la noción de replicación puede resultar útil recordar las ideas de Popper respecto del problema que tratamos. Dice Popper:

En realidad, puede definirse el *efecto físico* científicamente significativo como aquel que cualquiera puede reproducir con regularidad sin más que llevar a cabo el experimento apropiado del modo prescrito. Ningún físico serio osaría publicar, en concepto de descubrimiento científico, ningún *efecto oculto* de esta índole, es decir, para cuya reproducción no pudiese dar instrucciones. (Popper, 1959, p.44; subrayado suyo).

El concepto de repetición que ofrece Popper en las líneas citadas, hace recaer la repetibilidad de un experimento en la posibilidad de ofrecer un *conjunto de reglas* que permita a cualquier sujeto –en principio– obtener el mismo resultado. Ello significaría que, repetir un experimento es replicarlo, en el sentido de conservar sin modificación todo aspecto presente en la situación original. Un resultado adquiere relevancia científica, según lo anterior, si es posible reproducirlo con la replicación del experimento original.

En *Changing Order*, cuestionando el planteo popperiano, Collins pregunta: ¿Pueden brindarse instrucciones que permitan replicar un experimento? Dicho de otro modo ¿Es posible ofrecer una teoría algorítmica de la repetición, tal como Popper parece pretender? Basándose en el caso de la construcción de equipos láser, concluye que un componente fundamental en el éxito para la producción de un instrumento *idéntico* es la transferencia de *conocimiento tácito* (Polanyi, 1967). Llega a esta conclusión al comprobar que los éxitos en la replicación de un cierto láser, se obtienen sólo si un miembro del equipo de los *replicantes* entra en contacto con los constructores originales del instrumento. Collins pone de manifiesto que la actividad experimental está ligada al conocimiento práctico, a una *cierta* habilidad, y no al conocimiento proposicional, recuperando así la clásica distinción entre el *saber que* y *saber cómo*, entre el *conocer* y el *hacer*. La incidencia del componente *artesanal* en el ámbito experimental –entiende Collins– volvería imposible obtener una réplica de un instrumento por vía algorítmica. Dicho en sus términos:

Resumiendo, el flujo de conocimiento fue tal que, primero, se propagó sólo cuando existió contacto personal con un practicante avezado; segundo, el pasaje fue invisible de modo que los científicos no sabían si poseían la capacidad de construir el láser hasta intentarlo; y tercero, fue tan caprichoso que relaciones similares entre maestro y

practicante podían o no resultar en la transferencia de conocimiento. Estas características del flujo de conocimiento cobran sentido si un componente crucial en la habilidad de construir un láser es el conocimiento tácito. (Collins, 1985, p.56).

En el caso del láser, la respuesta a la pregunta por la transferencia exitosa del conocimiento tácito se resuelve rápidamente. El funcionamiento correcto del láser se comprueba por sus efectos. Pero ¿Qué sucede cuando no hay tal efecto observable? Pensemos fundamentalmente en la búsqueda de señales débiles por medio de equipos contruidos *ad hoc*, tal como la detección de ondas gravitatorias. Trasladando el problema que señala a los medios de contrastación de un resultado experimental, Collins muestra que la replicación de un experimento, lejos de ser un procedimiento mecánico, carente de inconvenientes, es conflictiva, y de no existir una forma de garantizar el flujo de conocimiento tácito entre investigadores, no es posible evaluar el éxito en la replicación, y, por consiguiente, tampoco podrá tomarse un resultado coincidente como confirmatorio ni un resultado discordante como disconfirmatorio.

El término *réplica*, si seguimos su uso en las ciencias biomédicas, lleva asociada la connotación de identidad; la replicación es el mecanismo biológico por medio del cual una molécula de ADN se reproduce, dando como producto de dicho proceso una molécula *idéntica* a la primera. Creo que es esta característica la que debemos privilegiar al momento de definir la noción de replicación para los experimentos en ciencias fácticas, siendo ahora fundamental establecer a qué tipo de identidad estamos aludiendo. Si la replicación de un experimento tiene como objetivo la contrastación de un resultado experimental, y por tanto, la importancia de la réplica reside en la posibilidad de contrastar los resultados del instrumento original, aquello que resulta necesario y que en conjunción con los requisitos antes mencionados de invariancia teórica e invariancia del diseño experimental caracteriza de manera suficiente a una réplica, es el hecho de que ambos instrumentos sean *funcionalmente idénticos*, es decir que, dada una misma señal emitida por la fuente estudiada, ambos instrumentos proporcionen un dato coincidente. Sin embargo resulta de dudosa utilidad práctica la postulación del requisito de identidad funcional ya que para que el juicio respecto del éxito en la replicación pueda formularse es preciso proponer un *método* para evaluar si dos dispositivos son o no funcionalmente idénticos. A continuación propondremos una posible forma de determinar tal identidad.

En el capítulo dos del trabajo hemos considerado la calibración como un recurso fundamental a la hora de evaluar el funcionamiento de un instrumento. Hemos asimismo indicado en el capítulo cuatro, los problemas asociados con este tipo de evaluación en los casos en que la señal que se intenta detectar es desconocida y concedimos que la calibración en estos casos no permite decidir si un instrumento es capaz de detectar la señal desconocida. Sin embargo, aun cuando no sea posible apelar a esta estrategia como medio para juzgar el buen funcionamiento de un instrumento, la calibración puede resultar un medio útil para determinar si un detector es o no una réplica adecuada del original, permitiendo conjeturar la identidad funcional entre los instrumentos sometidos a comparación. Si los detectores son expuestos a un conjunto de *inputs* y proveen *outputs* coincidentes para los mismos, podemos inferir que para aquella señal desconocida se comportarán de igual modo. Asimismo, podremos inferir que la transmisión de conocimiento tácito ha sido exitosa. Ejemplificando lo anterior a partir del caso que hemos estudiado en las páginas precedentes, podemos decir, *mutatis mutandis*, que el detector utilizado por Weber y aquel utilizado por Garwin, podrían considerarse funcionalmente idénticos si siendo sometidos a una fuente de pulsos acústicos de intensidad conocida fuesen ambos capaces de registrar el mismo valor para los pulsos, y si al ser excitados por una fuente electrostática común, respondiesen de igual modo⁴⁶. Esto, desde luego, presupone un acuerdo respecto del método de análisis de los datos, pero creemos que el consenso respecto de cómo realizar tal análisis para el caso de fuentes conocidas y cotidianamente estudiadas en la física contemporánea es factible de ser logrado.

El criterio de identidad funcional, si bien estimo que no es inmune a la crítica, provee un recurso útil en el momento de juzgar la transmisión exitosa de conocimiento tácito, y, como veremos a continuación, permite ofrecer una respuesta al argumento escéptico de Collins.

⁴⁶ Esto es meramente a modo de ilustración. No sostenemos que efectivamente las antenas de ambos investigadores sean réplicas, por cuanto difieren en su sensibilidad. Contrariamente a lo que sostiene Franklin creemos que los experimentos son del mismo tipo.

5.4 Una respuesta al ARE en su versión epistemológica

Tras haber elucidado la noción de replicación en las líneas anteriores, volveremos ahora al *ARE* intentando superar el desafío escéptico que plantea para las ciencias naturales. Comenzaremos por transcribir aquí la versión (I) del argumento, para proseguir la discusión con las herramientas de las que ahora disponemos.

(I) Es una paradoja que se presenta a aquellos que pretenden utilizar la replicación como un test de la verdad de una proposición científica. El problema es que, dado que la experimentación es una cuestión de habilidad práctica, nunca es claro si un segundo experimento fue lo suficientemente bien realizado como para contar como una contrastación de los resultados del primer experimento. Un experimento posterior es requerido para evaluar la calidad del último, y así... (Collins, 1985, p.2).

Si recordamos el análisis del argumento realizado en el capítulo tercero, Collins nos instaba a aceptar que la replicación constituía el único medio legítimo para la contrastación de un enunciado empírico en la investigación de frontera y, tal como se desprendía de nuestro análisis de (I), esta forma de repetición experimental involucraba conocimiento tácito, lo que volvía imposible conocer si un instrumento era o no una réplica de aquel cuyos resultados se sometían a evaluación. Si aceptamos que el método que hemos propuesto para establecer si dos instrumentos son réplicas, esto es, el método de la calibración múltiple para determinar la identidad funcional, y aceptamos también que dos instrumentos funcionalmente idénticos lo son en virtud de la transferencia exitosa de conocimiento tácito, queda demostrado en qué casos un experimento puede considerarse una réplica adecuada y por consiguiente, que aun cuando la replicación fuese la única estrategia posible para contrastar un resultado experimental, hay criterios para decidir si el conocimiento tácito ha sido transferido, con lo que el regreso al infinito puede evitarse con medios internos a la práctica científica.

Entendemos, sin embargo, que esta propuesta no está exenta de inconvenientes. El criterio de identidad funcional como posible método de evaluación del éxito en la replicación, y de transferencia de conocimiento tácito, se vale de una inducción que en muchos casos puede no ser justificada. ¿Cuál es el número de clases de señales en que

deben coincidir los detectores comparados para evitar una inducción apresurada? Es este un problema que debería evaluarse en cada situación experimental, si se desea utilizar la identidad funcional como una estrategia que permita eludir la primer forma de regreso al infinito.

Pero, por otra parte, Collins señaló como hemos indicado oportunamente, una asimetría entre los recursos confirmatorios y los disconfirmatorios a partir de la cual exigía que en todo intento de disconfirmar un resultado experimental problemático se apelase a la replicación. Teniendo en cuenta nuestra caracterización de la noción de replicación y tomando seriamente la exigencia de Collins, llegamos a la paradójica consecuencia de que, si las réplicas son tales, confirmarán inevitablemente los resultados previos, a menos que difieran en el tratamiento estadístico de los datos obtenidos, que es precisamente, lo que sucedió en el caso estudiado al comparar los trabajos del equipo de Maryland y el equipo de IBM, como fuera observado por Franklin. (Cf. Franklin, 1998, p. 155). Con ello, asumimos que la replicación de experimentos, lejos de ser como Collins pretendiera, el único medio epistemológicamente aceptable para la reproducción de un resultado experimental, no permite dirimir el status de un resultado conflictivo⁴⁷.

Llegamos entonces a la conclusión de que el problema no reside en las dificultades de la replicación, sino en los criterios para decidir qué clase de procesamiento de señales utilizar, algo que poco tiene que ver con la formulación (I) del argumento. Por el contrario, el problema radica en cómo atribuir características a una señal desconocida, dado que de dichas características dependerá en buena medida el tipo de análisis a emplear. Por ello, la primer versión del *ARE*, así entendida, no plantea ningún desafío a la objetividad de las ciencias empíricas. La replicación, alegamos, no es pertinente para la disconfirmación de resultados experimentales, sino una puesta en evidencia de conflictos en lo concerniente a los aspectos intelectuales del experimento, y no a los materiales, como el propio Collins deja entrever a partir del ejemplo del láser.

Con lo anterior, pretendemos haber mostrado la primera tesis que, establecida en el capítulo tercero, nos permitiría eludir el regreso pretendido por Collins, la replicación no es

⁴⁷ Franklin y Howson (1984) sostienen a partir del acercamiento *bayesiano* al problema, que la replicación de experimentos posee escaso valor confirmatorio cuando es comparada con otros procedimientos para la reproducción de resultados. Coincidimos con ellos agregando que la replicación experimental, por sus características, tampoco permitirá la disconfirmación. Su mérito sin embargo, radica en la puesta en evidencia de las variaciones que suscitará una modificación de las técnicas de análisis de datos, si las hubiera.

el medio exclusivo para la contrastación de un resultado experimental. En sentido estricto, consideramos que la replicación –tal como ha sido definida- no es un medio epistemológicamente viable para la contrastación en la investigación de frontera. Creemos –al margen de las razones filosóficas que hemos aportado para realizar tal afirmación- encontrar sustento a nuestra tesis en la historia de la ciencia. Difícilmente dos equipos de investigación replican experimentos, por el contrario, la norma en la práctica científica es la variación de los procedimientos experimentales, que en general tienen como consecuencia un aumento de sensibilidad respecto del experimento original, y que por ello quedan enmarcados en la clase 2.2.1 de nuestra clasificación. Un caso que es comparable con el de las ondas gravitatorias tanto por la polémica que generó en la comunidad física, como por las dificultades del experimento, es el de la posibilidad de inducir reacciones nucleares a bajas temperaturas: la *fusión en frío*. En este episodio, Martin Fleischmann y Stanley Pons, de la universidad de Utah, afirmaron haber logrado la fusión nuclear a partir de átomos de deuterio.⁴⁸ Al tiempo, intentando reproducir los resultados de Fleischmann, Abriola y su equipo, construyeron un dispositivo 25 veces más sensible en el que no encontraron evidencia alguna de la emisión de neutrones a 2.5 MeV, -el resultado reportado por Fleischmann y Pons- (Cf. McKinney, 1998), vemos con ello otro ejemplo de un caso conflictivo en el que, lejos de replicar el experimento sometido a evaluación se busca repetir el resultado apelando a instrumentos mucho más sofisticados y sensibles.

Hay, sin embargo, casos de experimentos replicados que lejos de tener por objeto la corroboración o refutación de los resultados previos, se sustentan exclusivamente en su interés histórico, por cuanto están destinados fundamentalmente a evaluar si un científico realizó o no cierto procedimiento. Como ejemplo, podemos pensar en las replications de los experimentos de Galileo que llevaron a cabo de manera independiente Stillman Drake (1973), Ronald Naylor (1980) y David Hill (1988) o, tomando un artículo reciente sobre el tema, en la replicación del *kaliapparat* de Justus Von Liebig, instrumentó destinado al análisis de sustancias orgánicas. (Usselman, Reinhart y Foulser, 2005).

En resumen: si la replicación fuese el único medio para la contrastación de un resultado controvertido, sería posible transferir el conocimiento tácito, sin embargo, la replicación no

⁴⁸ La fusión nuclear es un proceso que tiene como resultado una liberación extraordinaria de energía, y de poder lograrse a bajas temperaturas tendría un impacto económico de extrema importancia.

es un medio legítimo para tal fin, *ergo*, la versión (I) no plantea un desafío serio para la racionalidad en la ciencia experimental.

5.5 Una respuesta al ARE en su versión ontológica

Ahora bien, hemos indicado en el capítulo tercero el vínculo entre la formulación (I) y (II) del ARE. Hemos mostrado en esa oportunidad, que la verdad de (II) dependía de la verdad de (I), puesto que (II) suponía que el único medio lícito para la reproducción de un resultado era la replicación. Sin embargo, creemos pertinente evaluar independientemente la versión (II) para concluir nuestra discusión del ARE. Por ello, nos abocaremos a proponer una respuesta a la misma en el resto de esta sección.

La versión (II) del ARE afirma:

(II) Cuál sea el resultado correcto depende de que efectivamente haya ondas de gravedad golpeando la Tierra en flujos detectables. Para resolver esto, debemos construir un buen detector de ondas de gravedad y echar un vistazo. ¡Pero no sabremos si hemos construido un buen detector hasta haber probado y obtenido el resultado correcto! Pero no sabemos cuál es el resultado correcto hasta...y así *ad infinitum*.
(Collins,1985, p. 85).

Como anticipamos en el tercer capítulo de este trabajo, esta formulación del ARE presupone la aceptación de compromisos epistemológicos cuestionables. Dado que (II) asume que el único medio para juzgar cuál sea el resultado correcto descansa en el buen funcionamiento del instrumento de detección empleado, presupone la aceptación de una versión extrema de la tesis de la autonomía de la experimentación por cuanto supone un acceso independiente al mundo físico, eludiendo toda mediación teórica. Sin embargo, es dudoso que un experimento en la investigación de frontera carezca de lineamientos teóricos, por el contrario, los lazos entre teoría y experimentación se estrechan en estos casos y, en general, la coincidencia con las predicciones teóricas es un indicador del buen funcionamiento del instrumento empleado en la medición. Coincidimos con Kuhn en este punto, cuando afirma:

En los casos en que la medición es insegura, una de las pruebas de confiabilidad de los instrumentos existentes y de las técnicas de manipulación ha de consistir, inevitablemente, en su capacidad para dar resultados que concuerden favorablemente con la teoría existente. En algunas partes de la ciencia natural, sólo de esta manera puede juzgarse la adecuación de la técnica experimental. (Kuhn, 1977, p. 209).

La determinación del resultado correcto en casos problemáticos, puede establecerse a partir de las teorías mejor corroboradas en la disciplina en cuestión y, así aceptaremos que el instrumento funciona correctamente si es capaz de proveer resultados que coincidan con las expectativas teóricas. En el caso estudiado, Weber independientemente de los errores que señalamos, obtuvo resultados que requerían de acuerdo con la teoría general de la relatividad la producción de efectos observables que no se observaron oportunamente, como hemos señalado en el capítulo 3, los resultados de Weber, de ser correctos, debían estar acompañados por fenómenos cosmológicos visibles a ojo desnudo. (Cf. Levine, 2004).

No deseamos, sin embargo, que por ello se nos acuse de sostener una suerte de *epistemología conservadora*, ya que convertir lo anterior en una norma universal de aplicación irrestricta traería algunas consecuencias indeseables. Aplicada como imperativo en la actividad científica, el cambio teórico resultaría imposible, y aceptada como regla epistemológica sin excepción traería como consecuencia la adopción de una posición filosófica que no es capaz de explicar el cambio científico, por ende, la aceptación de una epistemología descriptivamente inadecuada. Por ello, creemos que la apelación al contexto teórico es lícita sólo si la teoría a partir de la cual determinaremos el resultado correcto ha sido bien corroborada anteriormente y, desde luego, si no es modificada de manera *ad hoc* a fin de alcanzar tal coincidencia. En este sentido, creemos justo defender que la concordancia de los resultados de Weber con las predicciones de la teoría general de la relatividad, que cumple notablemente con la imposición anterior⁴⁹, podría tomarse como un

⁴⁹ Para un detalle de las predicciones corroboradas de la Teoría General de la Relatividad véase Will (1993 y 2001).

indicador del buen funcionamiento de su instrumento de detección. En casos menos claros, entendemos que no resulta pertinente tomar la coincidencia entre una predicción teórica y el resultado obtenido como parámetro de la idoneidad del instrumento.

Sin embargo, en aquellos casos en los que la teoría no cumple con el requisito antes impuesto, es posible, con el fin de determinar cuál sea el resultado correcto, apelar a vías alternativas más seguras, sea a mediciones indirectas o bien a la coincidencia con los resultados de experimentos independientes, esto es, aquellos experimentos que estén basados en teorías lógicamente independientes y que involucren para su funcionamiento procesos físicos no relacionados. En la investigación que nos convoca, una medición indirecta que podría favorecer la hipótesis de la existencia de ondas gravitatorias es la medición de la frecuencia orbital de los púlsares binarios (Cf. Will, 1993), mientras que el caso representativo para la contrastación independiente de los resultados de Weber podríamos ejemplificarlo con la medición de la radiación gravitatoria que utilizó a la Tierra como detector. (Cf. Wiggins y Press, 1969). Sin duda alguna, determinar el resultado correcto a partir de la coincidencia entre predicciones teóricas y/o a partir de la coincidencia de los resultados provistos por experimentos independientes es una apelación solapada al argumento del no-milagro propuesto por Putnam en su época realista (1971) (también Salmon, 1984), y como tal, estará sujeto a las críticas que recibiera el mismo. Creemos, sin embargo, que pretender conclusiones apodícticas respecto de problemáticas empíricas es reclamar un grado de certeza a todas luces inaccesible.

Para concluir, respecto de las tesis que presentamos al finalizar el capítulo tercero como respuestas posibles al *ARE* defendemos que el resultado correcto puede establecerse con criterios independientes del funcionamiento del instrumento, y por ello, creemos haber mostrado que la versión (II) del *ARE* tampoco representa un problema insoluble para la racionalidad de la práctica científica.

Nos parece justo señalar ahora, que en nuestro recorrido, hemos finalizado por sostener las conclusiones de Allan Franklin, pero por un camino filosófico diferente. En primer lugar, coincidimos con él respecto de las razones que desataron la polémica histórica entre los diversos investigadores, las razones no obedecieron a problemas relacionados con los instrumentos utilizados, como afirma Collins, sino a la manera de analizar e interpretar los datos obtenidos. Hemos señalado que no podía ocurrir de otra manera, más aun si las

réplicas fuesen tales. Finalmente sostuvimos que la investigación de frontera está profundamente imbricada al costado teórico de la ciencia, reduciendo entonces la pretensión de objetividad extrema que en definitiva condena al escepticismo y al relativismo a quienes tan altas exigencias reclaman al conocimiento científico.

Conclusión

La filosofía de la ciencia desde sus inicios ha insistido en la importancia de la objetividad de la base empírica para la contrastación de las teorías producto de la actividad científica. La pregunta pues, en este trabajo fue, ¿Qué clase de certeza nos suministran los datos obtenidos en el trabajo experimental? ¿Qué procedimientos o estrategias se emplean en la práctica científica con el fin de determinar si un resultado es válido? Nos abocamos en detalle a dar respuesta a dichas preguntas en el segundo capítulo de la investigación examinando los diversos criterios que pueden emplearse en los distintos elementos de un experimento y mostramos cómo puede juzgarse la idoneidad de un instrumento, la adecuación del diseño experimental y la pertinencia del análisis de datos para un cierto experimento. Mostramos además que, las estrategias epistemológicas si bien son necesarias para juzgar la validez de los resultados obtenidos no son suficientes, puesto que el error no es eliminable en sentido estricto, siempre pueden existir causas de error que, desconocidas por los investigadores, no puedan ser siquiera contempladas en el transcurso de la indagación. Con lo que muchas conclusiones experimentales no reúnen las condiciones de confiabilidad necesarias en un momento determinado para sustraerse de toda duda y continúan sujetos a la duda razonable.

Tras haber señalado el carácter hipotético de los enunciados producto de la actividad experimental, analizamos el *argumento del regreso del experimentador* propuesto por Harry Collins como un desafío al valor epistémico de la experimentación. Presentamos dos formulaciones del *ARE*, en la primera se sostiene la imposibilidad de la replicación y con ello, la imposibilidad de la contrastación de un resultado experimental problemático; y, en la segunda, de carácter ontológico, se defiende que la determinación del resultado correcto es coextensiva con la determinación del buen funcionamiento de un instrumento. En esas páginas mostramos cómo ambas versiones suponen que la replicación es el medio exclusivo para la contrastación -y en particular, para la refutación- de un resultado experimental y con ello estudiamos las diversas formas de reproducción de un resultado, deteniéndonos específicamente en la noción de replicación, llegando a cuatro conclusiones:

- 1- Una réplica es tal que al ser comparada con el instrumento replicado se cumple que: ambos instrumentos miden la misma magnitud física, ambos suponen para su funcionamiento el mismo cuerpo de conocimiento teórico, el diseño experimental permanece inalterado y, finalmente, los instrumentos comparados son funcionalmente idénticos.
- 2- La identidad funcional entre detectores puede determinarse a partir del método de calibración múltiple.
- 3- La identidad funcional es un indicador de la transferencia exitosa de conocimiento tácito.
- 4- Por sus características, experimento replicador y experimento replicado no pueden más que ofrecer valores coincidentes de las magnitudes medidas, con lo que la replicación no resulta – a diferencia de lo sostenido por Collins- un medio epistemológicamente adecuado para dirimir el status de un resultado experimental conflictivo.

Mostramos así que la primera versión del *ARE* se sustenta en presupuestos falsos, y con ello no plantea un desafío serio a la racionalidad de la actividad experimental. Continuamos reflexionando respecto del alcance de la versión ontológica del argumento, considerando relevante la pregunta respecto de los medios que nos permitirían juzgar cuál es el resultado correcto de un experimento en la investigación de frontera y proseguimos nuestra investigación indicando que:

- 1- La versión ontológica supone la adhesión a una tesis extrema de la autonomía de la experimentación.
- 2- La autonomía de la experimentación, así entendida, significa que el experimento no se sustenta en presupuestos teóricos que permitan establecer a priori qué clase de resultado es esperado.
- 3- Las teorías científicas que han sido objeto de contrastaciones previas, sobre todo las que han realizado predicciones novedosas posteriormente corroboradas y son consideradas por la comunidad científica como conocimiento fuera de la duda

razonable, permiten evaluar la pertinencia de un resultado experimental, indicando cuál sería el resultado correcto en caso de que la teoría fuese verdadera.

- 4- Si la teoría o conjunto de teorías de la cual la predicción del resultado se deriva no cumple con los requisitos anteriores, las mediciones indirectas y la contrastación independiente son vías a las que puede apelarse con el fin de determinar si el resultado provisto por un experimento es o no correcto y, con ello, si el instrumento que lo produjo funciona adecuadamente.
- 5- La coincidencia entre resultados de diversas mediciones como las antes propuestas es un argumento abductivo que proporciona razones para juzgar cuál es el resultado correcto.

Ahora bien, en tanto una teoría científica, aun siendo considerada conocimiento aceptado en un momento dado, es susceptible de una refutación posterior, y dado que la coincidencia entre múltiples mediciones de una misma magnitud por medios alternativos es una forma del argumento del no-milagro y con ello un tipo de razonamiento abductivo, es decir, deductivamente inválido, no nos es lícito considerar a los productos de la experimentación como conocimiento infalible. Pero ello, sin embargo, tampoco nos autoriza a afirmar, como pretendiera Collins, que los fundamentos del conocimiento empírico sean meramente el producto de la persuasión o la convención. Simplemente debemos asumir que el conocimiento experimental posee el mismo carácter hipotético y, por tanto, provisorio, que hemos atribuido toda teoría empírica.

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
Dirección de Bibliotecas

Bibliografía:

- ACKERMANN, R. (1985), *Data, Instruments, and Theory: A Dialectical Approach to Understanding science*, Princeton, Princeton University Press.
- ACKERMANN, R. (1989), "The New Experimentalism", *British Journal for the Philosophy of Science*, 40: 185-190.
- ACKERMANN, R. (1991), "Allan Franklin: Right or Wrong?", *PSA* 2: 451-457.
- BAHCALL, J. (1969), "Neutrinos from the Sun", *Scientific American*, 221: 29-37.
- BAHCALL and DAVIS, R. (1976), "Solar Neutrinos: a Scientific Puzzle", *Science*, 191: 264- 267.
- BAIRD, D.C. (1988), *Experimentation. An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*, Englewood cliffs, NJ, Prentice-Hall, 2ª ed.
- BANDYOPADHYAY, P. (1972), "Solar Neutrinos and the Cl Neutrino Absorption Experiment", *Journal of Physics*, A 5: L19-23.
- BARNES, J. (1990), *The Toils of Scepticism*, Cambridge, Cambridge University Press.
- BERNARD, C. (1865), *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*, Reed. Paris, Flammarion, 1984.
- BROWN, H. (1987), *Observation and Objectivity*, New York, Oxford University Press.
- CASSINI, A. (2000), *El lado empírico de la ciencia: Observación, experimentación y realidad en las ciencias naturales*, (inédito).
- CASSINI, A. y LEVINAS, L. (2005), "La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial", *Scientiae Studia*, 3-4: 547-581.
- CARNAP, R. (1966) *La Fundamentación Lógica de la Física*, Bs. As. Ed. Hyspamérica. 1985.
- CARNAP, R. (1928), *Der logische Aufbau der Welt*, Hamburg, Felix Meiner, 2a ed., 1961.
- CARTWRIGHT, N. (1991), "Replicability, Reproducibility and Robustness: Comments on Harry Collins", *History of Political Economy*, 21: 143-155.
- CHALMERS, A. (1990), *La ciencia y cómo se elabora*, Madrid, Siglo Veintiuno Eds, 1992.
- COLLINS, H (1975), "The Seven Sexes: A Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replication of Experiments in Physics", *Sociology*, 9: 205-224.
- COLLINS, H. (1981), "Son of the Seven Sexes: The Social Destruction of a Physical Phenomenon" *Social Studies of Science*, 11: 33-62.
- COLLINS, H. (1984), "When do Scientists Prefer to Vary their Experiments", *Studies in History and Philosophy of Science*, 15: 169-174.
- COLLINS, H. (1985), *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Chicago, University of Chicago Press. (2º Ed. With afterwords, 1992).

- COLLINS, H. (1991), "The Meaning of Replication and The Science of Economics", *History of Political Economy*, **21**: 123-142
- COLLINS, H. (1994), "A Strong Confirmation of the Experimenters' Regress", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **25** (3): 493-503.
- COLLINS, H. (1998), "The meaning of Data, Open and Closed Evidential Cultures in the Search for Gravitational Waves", *American Journal of Sociology*, **104**: 293-338.
- COLLINS, H. (2001), "Tacit Knowledge, Trust and the Q of Sapphire", *Social Studies of Science*, **31**: 71-85.
- COLLINS, H. (2002). "The Experimenters' Regress as Philosophical Sociology", *Studies in History and Philosophy of Science*, **33**: 153-160.
- COLLINS, H. (2004), *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- COLLINS y PINCH. (1993), *The Golem: What you Should Know about Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- CULP, S. (1995), "Objectivity in Experimental Enquiry: Breaking Data-Techniques Circles", *Philosophy of Science*, **62**: 430-450.
- DANSTON, L y GALISON, P. (1992), "Image of Objectivity", *Representations* **40**: 81-128.
- DAVIES, P. (1980), *En busca de las ondas de gravitación*, Barcelona, Ed. Salvat, 1987.
- DRAKE, S. (1973), "Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts", *Isis*, **64**: 291-305.
- DRETSKE, F. I. (1981), *Knowledge and the Flow of Information*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- FRANKLIN, A (1986), *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press.
- FRANKLIN, A. (1988), "It Probably is a Valid Experimental Result: A Bayesian Approach to the Epistemology of Experiment", *Studies in History and Philosophy of Science* **19**: 419-427.
- FRANKLIN, A. (1989), "The Epistemology of Experiment", en: *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. GOODING, D. PINCH, T. y Schaffer, S. (Eds.) Cambridge, Cambridge University Press. Pp. 437-460.
- FRANKLIN, A. (1990), *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge, Cambridge University Press.
- FRANKLIN, A. (1998), "Avoiding the Experimenters' Regress.", en: *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science*, KOERTGE, N. (Ed.) Oxford, Oxford University Press. Pp. 151-165.
- FRANKLIN, A. (1999), *Can That Be Right? Essays on Experiment, Evidence, and Science*, Dordrecht-Boston-London, Kluwer Academic Publishers.

- FRANKLIN, A. (2002a), *Selectivity and Discord: Two Problems of Experiment*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- FRANKLIN, A. (2002b), "Experiments in Physics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2003 edition) Edward N. Zalta (Ed.).
 Url:<<http://plato.stanford.edu/archives/sum2003/entries/physics-experiment/>>
- FRANKLIN, A. (2004), *Are There Really Neutrinos? An Evidential History*, Cambridge, WestView Press.
- FRANKLIN, A. (2005), *No Easy Answers: Science and the Pursuit of Knowledge*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- FRANKLIN, A y HOWSON, C. (1984), "Why do Scientists Prefer to Vary their Experiments?", *Studies in History and Philosophy of Science*, 6: 141-184.
- GALISON, P. (1987), *How Experiments End*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- GALISON, P. (1988), "Philosophy in the Laboratory", *Journal of Philosophy*. 85: 525-527.
- GALISON, P. (1997), *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago, University of Chicago Press.
- GARWIN, R. and LEVINE, J. (1974), "New Negative Results for Gravitational Wave Detection, and Comparison with Reported Detection", *Physical Review Letters*, 33-13: 794-797.
- GIERE, R. (1988), *Explaining Science, a Cognitive Approach*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- GODIN, B y GINGRAS, Y. (2002), "The Experimenters' Regress: From Skepticism to Argumentation", *Studies in History and Philosophy of Science*, 33: 133-148.
- GOODING, D., PINCH, T. y SCHAFFER, S. (Eds), (1989), *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HACKING, I. (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- HACKING, I. (1988), "On the Stability of the Laboratory Sciences", *Journal of Philosophy*, 85: 507-514.
- HACKING, I. (1988), "Philosophers of Experiment", *PSA* 2: 147-156.
- HACKING, I. (1988), "The Participant Irrealist at Large in the Laboratory", *British Journal for Philosophy of Science*, 39: 277-294.
- HACKING, I. (1992), "The Self-Vindication of Laboratory Sciences", *Science as Practice and Culture*. PICKERING, A. (Ed.) Chicago and London, University of Chicago Press. (pp. 29-64).
- HACKING, I. (1992 a), "Do Thought Experiments Have a Life on Their Own?", *PSA*, 2: 302-308.

- HACKING, I. (2000), "How Inevitable Are the Results of Successful Science?", *PSA*, 67: S58-S71.
- HILL, D. (1986), "Dissecting Trajectories: Galileo's Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall", *Isis*, 79: 646-668.
- HONES, M. (1990), "Reproducibility as a Methodological Imperative in Experimental Research" *PSA*, 1: 585-599.
- JACOBS, K. (1975), "Chemistry of the Solar Neutrino Problem", *Nature* 256: 560-561.
- KNORR-CETINA, K. (1982), "Relativism – What Now", *Social Studies of Science*, 12: 133-136.
- KOERTGE, N. (Ed.) (1998), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science*, Oxford, Oxford University Press.
- KOSSO, P. (1989), *Observability and Observation in Physical Science*, Dordrecht-Boston-London, Kluwer Academic Publishers.
- KUHN, T.S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press. (Second enlarged edition 1970).
- KUHN, T.S. (1977), *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago, University of Chicago Press.
- LAUDAN, L. (1982), "A Note on Collins Blend of Relativism and Empirism", *Social Studies of Science*, 12: 131-132.
- LATOUR, B. Y WOOLGAR, S. (1979), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, London and Beverly Hills: Sage, 2^o ed. 1986.
- LEVINE, J. (2004), "Early Gravity-Wave Detection Experiments, 1960-1975", *Physics in Perspective*, 6: 42-75.
- MACH, E. (1905), *Conocimiento y Error*, Buenos Aires. Ed. Espasa-Calpe.
- MAYO, D. (1996), *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- McKINNEY, W. (1998), When Experiments Fail: Is "Cold Fusion" Science as Normal?, en: *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science*, KOERTGE, N. (Ed.) Oxford, Oxford University Press. 133-150.
- MERTON, R. (1977), *Sociología de la ciencia*, Madrid, Alianza.
- MONTAIGNE, M. *Essays*, Tomo 2, Everyman's Library Collection, London, J. M. Dent [1938-42].
- NAGEL, E. (1968), *La estructura de la ciencia*, Buenos Aires, Ed. Paidós.
- NAYLOR, R. (1980), "Galileo's Theory of Projectile Motion", *Isis*, 71: 550-570.
- PLA, C. (1947), *Velocidad de la luz y relatividad*, Buenos Aires. Ed. Espasa-Calpe.
- PINCH, T. (1993), "Testing- One, Two, Three...Testing!: Toward a Sociology of Testing", *Science, Technology and Values*, 18: 25-41.

- PUTNAM, H. (1971) *Philosophy of Logic*, New York, Harper and Row.
- POLANYI, M. (1966), *The Tacit Dimension*, Gloucester, Peter Smith.
- POPPER, K. (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, London and New York, Routledge.
- RADDER, H. (1992), "Experimental Reproducibility and the Experimenters' Regress", *PSA* 1: 63-73.
- RADDER, H. (Ed.) (2003), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- RAGHAVAN, R. (1995), "Solar Neutrinos: from Puzzle to Paradox", *Science*, 267: 45-51
- RASMUSSEN, N. (1993), "Facts, Artifacts and Mesosomes: Practicing Epistemology with the Electron Microscope", *Studies in the History of The Philosophy of Science*, 24: 227-265.
- RASMUSSEN, N. (2001), "Evolving Scientific Epistemologies and the Artifacts of Empirical Philosophy of Science: A Reply Concerning Mesosomes", *Biology and Philosophy*, 16: 629-654.
- SALMON, W. (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton, Princeton University Press.
- SHAPER, D. (1982), "The Concept of Observation in Science and Philosophy", *Philosophy of Science* 49:125-146.
- USSELMAN, M. REINHART, C. y FOULSER, K. (2005), "Restating Leibig: A Study in the Replication of Experiments", *Annals of Science*, 62: 1-55.
- WEBER, J. (1960), "Detection and Generation of Gravitational Waves", *Physical Review*, 117-1:306-313.
- WEBER, J. (1967), "Gravitational Radiation", *Physical Review Letters*, 18-13: 498-501
- WEBER, J. (1968), "Gravitational Wave Detector Events", *Physical Review Letters*, 20-23: 1307-1308.
- WEBER, J. (1968b), "Gravitational Radiation from the Pulsars", *Physical Review Letters*, 21-6: 395-396.
- WEBER, J. (1969), "Evidence for Discovery of Gravitational Radiation" *Physical Review Letters*, 22-24: 1320-1324.
- WEBER, J. (1970), "Anisotropy and Polarization in the Gravitational-Radiation Experiments", *Physical Review Letters*, 25-3: 180-184.
- WEBER, J. (1972), "Computer Analyses of Gravitational Radiation Detector Coincidences", *Nature*, 240: 28-30.
- WIGGINS, R. y PRESS, F. (1969), "Search for Seismic Signals at Pulsar Frequencies", *Journal of Geophysical Research*, 74: 22.

WILL, C. (1993), *Was Einstein Right? Putting General Relativity into Test*, Oxford, Oxford University Press.

WILL, C. (2001), "The Confrontation between General Relativity and Experiment", *Living Reviews in Relativity*, Max Planck Institute for Gravitational Physics, Albert Einstein Institute, Germany.