

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



¿Por qué aceptar un resultado experimental?

Romina Zuppone*

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. Las preguntas que guían este trabajo son las siguientes: ¿En qué radica la aceptación de un resultado experimental? ¿Por qué es posible considerarlo válido? La validez, en el contexto que nos ocupa, es entendida como la distinción entre una señal efectivamente causada por un fenómeno y un artefacto. Éste último puede ser producto del instrumento utilizado, de la selección de datos o del tratamiento estadístico de los mismos. Dicho de otro modo, puede considerarse válido todo resultado que no es producido por los factores anteriormente indicados.

Me ocuparé -tomando como ejemplo el caso de los neutrinos solares- en poner de manifiesto las estrategias que permitirían rechazar, la existencia de causas de error en el transcurso de la experimentación. Y evaluaré, finalmente, si la aplicación de las mismas es condición necesaria y/o 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 que, si puede defenderse la idea de que los resultados experimentales son confiables y son aceptados por esta razón, se estará 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, la sociología del conocimiento científico, 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* de Harry Collins, han presentado una serie de desafíos a la objetividad y la racionalidad en la práctica experimental, concluyendo

* Universidad de Buenos Aires
Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 12 (2006)

que la aceptación de los resultados de una investigación está basada en criterios externos. En la polémica que confronta a 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, a las expectativas respecto de los resultados y no a la solidez de los resultados obtenidos. Propondré a continuación una mirada diferente sobre el problema de la aceptación de un resultado experimental.

Estrategias epistemológicas en la validación de resultados experimentales

Desarrollaré a continuación el caso de los neutrinos solares, para ilustrar –aunque no de manera exhaustiva– el uso de criterios epistemológicos que se aplican en el transcurso de la experimentación.¹ El objetivo principal del trabajo será mostrar que los criterios internos desempeñan un papel primordial en el establecimiento de la evidencia experimental.

Las estrategias a las que aludimos pueden clasificarse según evalúen:

- 1- El funcionamiento del instrumento: Intervención, confirmación independiente, validación indirecta, uso de instrumentos cuyo funcionamiento se sustente en teorías bien corroboradas, calibración.
- 2- El diseño experimental: chequeo experimental, eliminación de las fuentes de error, eliminación de explicaciones alternativas.
- 3- El análisis estadístico de los datos obtenidos: modificación del tipo de análisis, elección aleatoria de los datos a analizar.
- 4- Los resultados mismos: solidez de los datos obtenidos, propiedades del fenómeno estudiado, comportamiento nómico del fenómeno, coincidencia con predicciones teóricas, significación estadística del efecto y desviación estándar.

El problema de los neutrinos solares

¿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 la teoría requiere una modificación o si el experimento no fue bien realizado?

Los experimentos

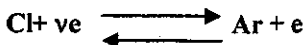
El caso de los neutrinos solares provee un buen ejemplo respecto de tales dilemas. Se estima que el Sol produce energía por medio de reacciones nucleares, particularmente la fusión nuclear, teniendo como principal fuente, el hidrógeno, según la reacción:



Raymond Davis, el primer investigador que desarrolló un detector de neutrinos para estudiar el modo de producción de energía solar, no obtuvo resultados que confirmaran las predicciones teóricas; por el contrario, su experimento captó sólo un tercio de los neutrinos previstos. La polémica respecto de los neutrinos 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. (Bahcall y Davis 1976, p.264)

El detector de Davis consistía en un tanque de 400.000 litros de Tetracloroetileno. El solvente utilizado a modo de reactivo tiene la siguiente particularidad: cuando un neutrino de alta energía colisiona con un átomo de cloro, reacciona formando argón radioactivo, la reacción que permite detectar neutrinos es la desintegración beta inversa (Pontecorvo, 1946)



Los átomos de argón pueden ser recuperados del tanque y contabilizados a partir de su desintegración radioactiva. De modo que la cantidad de argón presente es una medida de los neutrinos detectados. Recordemos que la tasa de argón es inferior a la que debería obtenerse conforme las predicciones teóricas.

El detector fue ubicado en las profundidades de una mina en Estados Unidos y rodeado de un "escudo de agua". La elección del lugar obedece a la intención de aislar el detector de la incidencia de rayos cósmicos, el agua por su parte, permite detener neutrones. Tanto los muones provenientes de los rayos cósmicos como los neutrones, podrían iniciar reacciones que produjeran argón radioactivo, son factores de ruido. Ello permite ilustrar cómo la eliminación de fuentes de error es una estrategia habitualmente empleada en el diseño experimental.

Una de las primeras opciones al obtener los resultados fue reevaluar el diseño experimental, intentando hallar factores de equivocidad. Jacobs (1975) propuso que el solvente utilizado en el detector podría, 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 lo 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 sugerencia de Jacobs, sin embargo, fue contemplada en un experimento independiente realizado por Leventhal y Friedman, (Cf. Bahcall y Davis 1976) en el que se mostró que la formación de polímeros era altamente improbable.

Otra fuente de equivocidad en el experimento, podría deberse al método utilizado para contabilizar las moléculas de argón radioactivo. Si éste no es eficiente, entonces los neutrinos llegarían al detector, la reacción se produciría, pero el argón no sería contabilizado. La eficiencia de la técnica de extracción de argón ha sido evaluada por tres vías diferentes, y permite recuperar un 95% del argón producido.

Por otra parte, 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*², el reactivo empleado es el galio. En estos casos la tasa detectada es mayor a la obtenida por Davis -aunque menor a la esperada- básicamente porque los detectores contruidos 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- teniendo en cuenta que los resultados experimentales permanecen sólidos, parecería necesario, una revisión de las teorías que implican la predicción.

Otro experimento destinado a la detección de neutrinos solares es el *Kamiokonde*, que puede en sentido estricto considerarse un experimento independiente, teniendo en cuenta que los principios de funcionamiento del detector se basan en la radiación Cerenkov que se genera en las colisiones entre neutrinos y electrones en agua ultra pura. Esta radiación es captada por fotomultiplicadores, lo que permite -a diferencia del resto de los experimentos- contabilizar neutrinos en tiempo real. Los datos obtenidos en este experimento, fueron sometidos a dos formas de análisis de datos, así como al análisis a partir de diferentes criterios de selección de datos, no evidenciando modificación sustantiva de los resultados. Por el umbral de detección del dispositivo, el experimento sólo permite detectar los neutrinos de mayor energía, lo que posibilita la comparación con el experimento original. Ambos experimentos, diseñados a partir de principios físicos diferentes, ofrecen resultados coincidentes, de modo tal que podemos considerar que Kamiokonde confirma independientemente los resultados del experimento de Bahcall-Davis.

Llegados a este punto, tras haber considerado y eliminado causas de error en el diseño experimental, realizado chequeos experimentales para evaluar la eficiencia del método de recuperación, variado el diseño experimental, confirmado independientemente los resultados, variado los métodos de análisis y los datos a analizar, y finalmente encontrado resultados coincidentes en conflicto con la teoría, los científicos se detienen a revisar el conocimiento teórico disponible.

¿Cómo interpretar los resultados?

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 propuesta fue el decaimiento de las partículas. Si fuera éste 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 estéril y por ello no serían detectados (Cf. Franklin 2002, p. 207). No obstante, la desintegración de los neutrinos se desestimó al captar una cantidad de neutrinos electrónicos mayor a la prevista, de ser la hipótesis del decaimiento correcta, provenientes de una supernova situada a una distancia mucho mayor que la que separa la Tierra del Sol.

Por otra parte, 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 estipulada, con lo que la tasa de neutrinos producidos en un intervalo temporal dado sería menor a la establecida. También si la producción de energía en la estrella no obedeciera a la teoría de reacciones nucleares, o no se produjera a partir de la reacción protón-protón, o si la presión y temperatura fuesen diferentes de las calculadas. De modo que, según estas versiones, sería necesario modificar el modelo solar y no el experimento. Sin embargo, se han producido, por medio de simulaciones, alrededor de 1000 modelos solares no estándar, ninguno de los cuales puede dar cuenta de los resultados obtenidos.

Bruno Pontecorvo, en 1957, había considerado la posibilidad de que el neutrino fuese una partícula con masa lo que le permitiría oscilar en distintos estados, de modo que en el trayecto desde el centro del Sol hasta el detector, la partícula oscilaría a la variedad tauónica o muónica. En este caso, nuevamente, los neutrinos previstos llegarían al detector, pero éste, preparado sólo para captar neutrinos electrónicos, no detectaría los restantes. Según esta explicación el detector sería eficiente al captar neutrinos electrónicos, pero no como detector de neutrinos solares, si no todos los neutrinos solares fuesen electrónicos. Si éste último fuese el caso, 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 sus variedades.

Finalmente, el experimento denominado *Superkamiokande* evidenció la masa no-nula de los neutrinos atmosféricos, lo que vuelve plausible que los neutrinos solares también sean masivos, lo que a su vez apoyaría la hipótesis de la oscilación de estas partículas³. Lo anterior 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.

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

He presentado un conjunto de estrategias que, utilizadas habitualmente en la actividad científica, permiten incrementar nuestra confianza en los resultados experimentales. He desarrollado -si bien no de modo exhaustivo- un caso histórico y explicitado el uso de las mismas para arribar a conclusiones. Ahora bien, ¿Es la aplicación de las estrategias necesaria para que en el transcurso de un experimento se obtengan resultados válidos? Y, por otra parte, ¿Son las condiciones suficientes para la validez de una observación o de un experimento? Respecto de la primera pregunta, mi respuesta es afirmativa. En cada situación experimental, el experimentador determina las estrategias que pueden ser aplicadas -notemos que en este caso muchas de ellas no pueden utilizarse- y deben ser cumplimentadas antes de considerar que el experimento ha concluido. En general, los científicos utilizan tantas estrategias como les es posible.

Reflexionando ahora respecto de la suficiencia 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 otra parte, es imposible conocer todas las causas de error que pueden simular el fenómeno que se investiga. Por ello, aplicar satisfactoriamente las estrategias no asegura que el resultado sea, en sentido estricto, correcto. Por otra parte, que estos criterios no sean suficientes no debe sorprendernos, ya que la forma de muchos de los argumentos es abductiva: la mejor explicación para que dos experimentos que operan bajo principios físicos diferentes provean un mismo resultado, es que éste no es producto de un error en ambos; la mejor explicación para la persistencia de un resultado en el transcurso de múltiples experimentos 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. Asimismo, tras la eliminación de explicaciones alternativas se apela a la aceptación de la causa más probable, otro tipo de inferencia que no provee certeza.

La falibilidad es la nota distintiva de la ciencia, una característica que comparten tanto las teorías como los experimentos. Los enunciados experimentales son, por lo anterior, revisables, y esta revisión se efectúa siguiendo una dinámica que involucra la relación entre el ámbito teórico, el experimental y el tecnológico.⁴ Sin embargo, y éste era el principal propósito del trabajo, 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.

Notas

¹ Las estrategias han sido presentadas bajo el nombre de *epistemología del experimento* por A. Franklin (1989).

² 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.

³ Es preciso tener en cuenta que la masividad de una partícula es condición necesaria para su oscilación.

⁴ Excede los límites del presente trabajo una propuesta acabada de la misma.

Bibliografía

Bahcall y Davis, R. (1976), "Solar Neutrinos: a Scientific Puzzle", *Science*, 191: 264-267.

Bahcall, J. (1969), "Neutrinos from the Sun", *Scientific American*, 221: 29-37.

Bandyopadhyay, P. (1972), "Solar Neutrinos and the Cl Neutrino Absorption Experiment", *Journal of Physics*, A 5: L19-23.

Collins, H. (1985), *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Chicago, University of Chicago Press (1992).

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), "Epistemology of Experiment", *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Franklin, A. (2002), *Selectivity and Discord: Two Problems of Experiment*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- Franklin, A. (2004), *Are There Really Neutrinos? An Evidential History*, Cambridge, WestView Press.
- Galison, P. (1987), *How Experiments End*, Chicago and London, The University of Chicago Press.
- Gooding, D. y PINCH, T. (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.
- Jacobs, K. (1975), "Chemistry of the Solar Neutrino Problem", *Nature*, 256: 560-561
- Koertge, N. (Ed.) (1998), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science*, Oxford, Oxford University Press.
- Mayo, D. (1996), *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- Pontecorvo, B. (1957), "Inverse Processes and Nonconservation of Lepton Charge", *Soviet Physics JETP*, 34. 247
- Shapere, D. (1982), "The Concept of Observation in Science and Philosophy", *Philosophy of Science*, 49.125-146.