

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XIV JORNADAS

VOLUMEN 10 (2004), Nº10

Pío García
Patricia Morey
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



Los experimentos cruciales y los contextos de aplicación de las teorías: el caso del movimiento y la posición de la Tierra¹

*Marcelo Leonardo Levinas**

Discutiremos dos problemas que han sido fundamentales en la historia de la ciencia: el de si la Tierra ocupaba el centro del universo y el de si se desplazaba o no en el espacio. Nuestra intención es presentar, en primer lugar, determinadas experiencias que, llevadas a cabo en marcos teóricos diferentes, hubiesen favorecido la hipótesis de una Tierra en reposo localizada, a su vez, en el centro del universo. En segundo lugar, discutiremos el carácter de las hipótesis auxiliares y de los experimentos que han sido llamados cruciales.

Partiremos del hecho de que existen pares de teorías, en principio referidas a fenómenos distintos y definidas en diferentes áreas de una misma disciplina, que no resultan competitivas entre sí, a pesar de lo cual una puede operar, o bien como apoyo, o bien como elemento refutatorio de las hipótesis fundamentales de la otra. Tomaremos, básicamente, la óptica ondulatoria como aquella teoría que puede favorecer o no la aceptación de hipótesis pertenecientes a la otra teoría, y a los interferómetros y espectrógrafos como los dispositivos empleados para la interpretación y la corroboración de hipótesis significativas. En consecuencia, atenderemos al electromagnetismo, que aportará los criterios para establecer la verdad de hipótesis vinculadas con problemas fundamentales vinculados con la teoría que estudia el movimiento a un nivel macroscópico, la mecánica. Al movimiento se lo asocia con la trayectoria; ésta viene establecida a partir de principios y leyes a partir de las cuáles se intenta determinar, a todo tiempo, la posición y la velocidad de una partícula. En nuestro caso, la "partícula" se refiere a un cuerpo: la Tierra, y de ella estudiaremos el problema de su posición y el de su velocidad.

El problema del movimiento de la Tierra es muy antiguo y por lo menos se remonta al siglo V a.C. Es bien sabido que hasta Copérnico la idea predominante se refería a que la Tierra se encontraba inmóvil y ubicada en el centro del universo. Muchos argumentos podían esgrimirse a favor de la idea de que se halla en reposo; los dos fundamentales se relacionaban, el físico, con el comportamiento dinámico de los cuerpos que no estaban en contacto con la superficie terrestre y el astronómico, con la inexistencia de la paralaje. El primer problema fue "resuelto" en el marco de la teoría de los ímpetus y más tarde, en el siglo XVII con la incorporación del principio de inercia; la paralaje fue detectada en 1838 cuando ya era universalmente aceptado el movimiento terrestre. Un dato significativo es que en el marco de la escolástica, hubo quienes afirmaron, como Oresme (s. XVI) -nada menos que uno de los fundadores de la teoría de los ímpetus- que el movimiento o el reposo de la Tierra no podría comprobarse y que sostener su reposo era, en última instancia, una verdad de fe.

* CONICET, Instituto de Astronomía y Física del Espacio. Universidad de Buenos Aires.
Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 10 (2004), N° 10

Analicemos el problema de la luz. Existieron intentos de explicar mecánicamente el comportamiento de la luz y del color en el marco de teorías en las que se interpretaban los fenómenos ópticos desde un enfoque de tipo material. Sin embargo, ellas fueron históricamente abandonadas con la adopción de la teoría ondulatoria. Un experimento que ha sido entendido como crucial fue el realizado por Newton disponiendo de dos prismas en el que sólo uno de los rayos provenientes de luz blanca, y ya refractado en el primer prisma, era refractado por segunda vez sin que se alterase su color, lo que contradecía la idea –con mayor vigencia hasta entonces– de que luz y el color eran fenómenos separados (Shapin, 2000, 146). Lo que el experimento de Newton mostraba era que la luz blanca consistía en una mezcla de rayos de diferentes colores que ante una segunda refracción permanecían invariables debido a su refrangibilidad específica, esto es, que no volvían a descomponerse. Ahora bien, a pesar de haber propuesto una teoría corpuscular de la luz, Newton conocía el fenómeno de su interferencia al que denominó “inflexión”. Admitiendo que su teoría no la explicaba; incluso introdujo “ondas de éter”. Stokes, por su parte, creía que la Tierra debía arrastrar al éter mientras que Fresnel, quien expresó la idea de que las ondas luminosas eran transversales, creía, en cambio, que el éter debía ser estacionario, lo que indicaba la existencia de un sistema de referencia absoluto. En 1803, Young explicó el fenómeno de interferencia de la luz en el marco de la teoría ondulatoria. A mediados del mismo siglo, cuando Fizeau mostró que la luz poseía mayor velocidad en el aire que en el agua, la óptica tomó momentáneamente partido por una visión exclusivamente ondulatoria de la luz en oposición a la corpuscular. Unos doscientos años después del experimento de descomposición de luz solar de Newton, Bunsen y Kirchoff diseñaron un espectroscopio. Su dispositivo esencial consistía en un prisma del tipo del de Newton con el que podían lograrse espectros de gases discontinuos, esto es, diferentes al espectro de la luz solar que es continuo. Se observaba cómo cada sustancia poseía un espectro que característico.

Analicemos el experimento de Michelson de 1881. Él se inspiraba en una conjetura: la Tierra debía moverse respecto del supuesto éter, medio aparentemente necesario para la propagación de las ondas electromagnéticas, entre ellas la luz. Una apreciación de tipo mecánica... Recordemos que la Tierra se traslada a una velocidad de unos 30 km/s en su órbita en torno del Sol y la luz unas diez mil veces mayor. Además, la velocidad de rotación de la Tierra sobre sí misma es, en el ecuador, unas 60 veces menor a la orbital. Esto suponía que en la dirección del movimiento terrestre, debía verificarse un viento de éter que debía traducirse en una diferencia en la velocidad de la luz en esa dirección respecto de su velocidad en la perpendicular. El diseño experimental, basado fundamentalmente en un interferómetro, mostraba que ese viento, eventualmente, no ocasionaba ningún efecto sobre la velocidad de la luz ya sea que ésta viajase con él o perpendicularmente a él. En el *American Journal of Science*, Michelson indicó: “La hipótesis de un éter fijo es errónea” (Michelson, 1881). Una primera conjetura: la Tierra podía arrastrar el éter como arrastraba al aire. En 1887, con el experimento más preciso de Michelson y Morley, se intentó medir el movimiento de la Tierra en su órbita, la rotación sobre su eje y un método para determinar la velocidad de todo el Sistema Solar, o sea, el movimiento completo, pero también absoluto de la Tierra en

un espacio identificado con el éter. Las conclusiones de este experimento lo llevaron a Bernal a sostener que se trató del más grande de todos los resultados negativos en la historia de la ciencia (Bernal, 1981, 48). ¿Qué interpretó Michelson? Pensó que la Tierra podía arrastrar al éter casi con su velocidad total, de manera tal que el movimiento relativo entre el éter y la superficie de Tierra era nulo o extremadamente pequeño.

Detengámonos, entonces, a analizar la importancia del presupuesto de que la Tierra se esté moviendo y remontémos al momento en que esa idea se hallaba en discusión. Tycho Brahe, en el siglo XVI, había criticado la posibilidad de una Tierra en movimiento –invocando, sobre todo, la ausencia de la paralaje. Ejemplificaba con que cuando un artillero disparaba una bala, ésta caía siempre a la misma distancia del cañón, independientemente de la dirección del lanzamiento. En otras palabras, nunca caía más lejos, así ella viajase en contra de un hipotético movimiento de la Tierra. Debemos recordar que el sonido, cuya velocidad es la misma en todas las direcciones, requiere del aire para propagarse; en realidad no se trata sino de una forma de vibración del aire. Recordemos, también, que con la incorporación del principio de inercia, este último fenómeno así como el de la bala, resultaban compatibles con el movimiento terrestre, sólo si se suponía que, tanto el proyectil como el aire, debían moverse inercialmente junto a la Tierra. Ahora bien, Galileo debió postular la inercia e intentó probar su existencia utilizando pasos al límite, justamente, para poder sostener al sistema copernicano el que, precisamente, postulaba el movimiento terrestre... (Levinas, 2000, Cap. 8) La inercia se constituyó así, en una hipótesis auxiliar imprescindible.

Teniendo en cuenta esto último, regresemos al experimento de Michelson-Morley. Digamos que Fitzgerald intentó resolver su problema sugiriendo que las dimensiones de un objeto variaban cuando aumentaba su velocidad en la dirección correspondiente. Lorentz apoyó la misma idea. Pero ¿qué debía suceder para que ello fuese posible? ¿Debía negarse la validez de las transformaciones de Galileo referidas a diferentes sistemas inerciales $x' = x + vt$ –lo que definía los sistemas inerciales– algo que involucraba al propio principio de inercia!, que como vimos, había surgido como apoyo de la hipótesis del movimiento terrestre... Lo que sucedía con los cuerpos en los sistemas de inercia, indistinguibles entre sí, dependía de su velocidad mutua. Lo que en realidad sugería la interpretación de Fitzgerald y Lorentz era que el interferómetro de Michelson debía contraerse $1/200.000.000$ en el sentido del movimiento orbital de la Tierra, movimiento al que se suponía dado. Más tarde Einstein plantearía la definitiva inexistencia del éter o, en definitiva, la inexistencia de un medio necesario para la propagación de las ondas electromagnéticas.

Podríamos afirmar que en lo esencial, el estudio del problema de interferencia de la luz y de su velocidad, han resultado independientes del problema astronómico concerniente al movimiento de la Tierra. Al precio de montárselos en una Tierra a la que se suponía en movimiento, forzaron un reajuste de la propia mecánica. Aquí, la conclusión más importante es que, si admitimos que la teoría ondulatoria posee su autonomía respecto de la mecánica y que los instrumentos dirigidos a medir la velocidad de la luz y su interferencia, hubiesen sido diseñados en la época de Galileo –en la que tenía vigencia la discusión acerca del

movimiento terrestre-, los experimentos hubiesen podido interpretarse como cruciales en contra de la hipótesis fundamental: la Tierra se mueve. Alguna vez Feyerabend ha vislumbrado este hecho (Feyerabend, 1984, 118); sin embargo no lo ha desarrollado ni tampoco, creemos, ha reparado en su enorme importancia. Por supuesto, nada de esto implica -en el sentido de lo contrafáctico- que hoy creeríamos que la Tierra se halla inmóvil. Pero de llevarse a cabo estas experiencias en el siglo XVII, seguramente hubiesen operado en contra de la aceptación momentánea del principio de inercia que podía justificar la movilidad de la Tierra?

El otro ejemplo se refiere a la posición central de la Tierra. Tomaremos el efecto Doppler, el que ha permitido estudiar el movimiento de las estrellas en la dirección de la visual. Si una fuente emite ondas con una dada frecuencia y se aleja de un observador, éste registrará que el tiempo transcurrido entre la llegada de dos crestas sucesivas es mayor que el que se registra en la fuente. Ello es debido a que la segunda cresta debe recorrer un camino más largo ya que ha sido emitida desde una mayor distancia que la primera. En consecuencia, el espectro de luz emitido sufrirá una disminución en su frecuencia y un aumento de su longitud de onda, esto es: un corrimiento del espectro hacia la zona del rojo. Si la fuente se acerca, sucede lo inverso. En 1842, Doppler señaló este fenómeno. En 1845 Buys-Ballot lo probó con el sonido para lo cual realizó el siguiente y simpático experimento: hizo que una orquesta de trompetas se ubicara en un vagón abierto de un tren que atravesaba la campiña de Utrecht. Ahora bien, Doppler creyó que su efecto podía explicar los diferentes colores de las estrellas ya que las que se estuvieran alejando de la tierra con mayor velocidad deberían tener longitudes de onda más larga, tendiendo hacia el rojo del espectro. Sin embargo, el color de una estrella no varía a causa de su alejamiento ya que la luz azul de la estrella que se aleja se desplaza hacia el rojo, pero al mismo tiempo parte de la luz ultravioleta que era invisible se corre a la parte azul de le espectro visible. A pesar de ello, se puede calcular su eventual alejamiento, según vimos, interpretando adecuadamente el efecto. Es interesante referir que la posibilidad de determinar el movimiento de las estrellas empleando este efecto contradecía, de hecho, lo supuesto por Comte en 1835, cuando éste hacía referencia a la composición química de las estrellas distantes, sosteniendo que sería imposible conocerlas debido a que el hombre nunca podría ser capaz de explorarlas. El campo de la filosofía positiva, según Comte, debía estar enteramente comprendido dentro de los límites de nuestro Sistema Solar y el estudio del universo era inaccesible en cualquier sentido positivo. En este punto, Comte, sin duda, no se había tomado lo suficientemente en serio la sentencia de Newton acerca de que las leyes del cielo debían ser las mismas que las de la Tierra y que, por lo tanto, los espectros emitidos por las estrellas -teniéndose en cuenta sus modificaciones a causa de su eventual movimiento- debían ser los mismos que los emitidos por las sustancias conocidas en la Tierra.

El efecto Doppler, según vimos, permitía calcular la eventual velocidad de acercamiento o alejamiento de una estrella. Ahora bien, ¿cómo podía calcularse su distancia? Si una estrella parece menos luminosa que otra, ello se traduce en su menor luminosidad aparente causada por su menor luminosidad absoluta o intrínseca, o por su mayor distancia, o por causas combinadas. Se ha tomado a las

cefeidas como "medida" de distancia. Para ellas se ha supuesto una estrecha relación entre los períodos observados en la variación de sus brillos y sus luminosidades absolutas, de manera tal que si uno identifica una Cefeida automáticamente establece su luminosidad absoluta independientemente de su distanciamiento. Entonces, si a ello se lo comparaba con la luminosidad aparente registrada, se podía calcular cuán lejos se halla. Conocer tanto la velocidad como la distancia de una estrella es fundamental para lo que sigue porque, precisamente Hubble, en 1929, anunció que el corrimiento hacia el rojo de galaxias observadas era mayor cuando mayor era su distancia a la Tierra. Entre esas galaxias identificó algunas cefeidas a las que supuso en su interior. Empleando el efecto Doppler, concluyó que las galaxias se alejaban de la Tierra en todas las direcciones más rápidamente cuanto más lejos se hallaban de la posición de la Tierra. En otro contexto, este fenómeno hubiese afianzado y protegido la idea de una Tierra situada en el centro del universo. Recordemos lo sostenido por Aristóteles: todos los movimientos naturales se producían en relación con un punto del universo, el centro de la Tierra, que debía coincidir con el centro del universo. Los movimientos circulares en el mundo supralunar de los astros, no eran sino rotaciones eternas respecto de ese punto; por su parte los cuerpos sublunares pesados caían en línea recta buscándolo a él; los leves, en cambio, alejándose de él, como el puro fuego.

Debemos distinguir el hecho de que en la interpretación realizada por Hubble existen dos presupuestos post-newtonianos. Una es la posibilidad de una expansión del espacio debido a la relatividad general de Einstein que enunció en 1916. La posible expansión del universo, implicaba, en realidad, un cambio de escala, una dilatación continua de las distancias: el espacio no se estaría agrandando dentro de "otro" espacio -no existiría ningún espacio disponible que fuese llenado en una expansión-, sino que sería el propio espacio el que "dilataría" su métrica, algo que sólo modifica el patrón de medida, la longitud: cuando dos objetos se alejan, existe igual cantidad infinita de puntos entre ellos, aunque la *medida*, aumenta. El segundo postulado es el principio cosmológico: el universo sería isótropo y homogéneo en un escenario consistente en un espacio-tiempo curvo, por lo que todos los observadores verían la misma situación, o sea que el resto del universo se aleja de ellos. Y a una escala de 100 millones de años luz, la distribución de masa del universo puede considerarse isótropa y homogénea (o sea a nivel de supercúmulos de galaxias). Estos presupuestos fueron introducidos muy posteriormente a Galileo y resultaron necesarios para poder interpretar la expansión y sin que a la Tierra se la necesitase ubicar en el centro de los movimientos. Es más, bien podría existir este tipo de expansión en un espacio tridimensional plano e infinito, o sea en un universo isótropo y homogéneo como el euclídeo. Sin embargo, pensemos que en el esquema newtoniano, la infinitud postulada, lo que precisamente garantizaba, era el equilibrio de un universo *estático* para el que los patrones de medida -la métrica euclídea provista por el teorema de Pitágoras- no debían modificarse en ninguna dirección. En la relatividad general la métrica es modificada por la presencia de la propia materia, algo que era inconcebible en la mecánica clásica...

Lo cierto es que Hubble calculó la distancia de dieciocho galaxias a partir de la luminosidad aparente de sus estrellas más luminosas y llegó a una relación li-

neal. Si uno observa sus datos cuesta creer en su conclusión ya que ninguna de las estrellas se hallaba más lejos del cúmulo de Virgo y sólo se observaba una suave tendencia de la velocidad a aumentar con la distancia; y, sin embargo, Hubble extendió los resultados a distancias mucho mayores. ¿No significa esto que presupone la respuesta? Luego a ella se la "fundamentó" a partir de un modelo cosmológico: el de Friedmann-Robertson-Walker.

Para concluir la discusión, hagamos una referencia a Popper y otra a Lakatos. Popper estableció una regla en la que consideraba aceptables sólo aquellas hipótesis auxiliares cuya introducción no disminuyese el grado de falsabilidad o contrastabilidad del sistema, sino que, por el contrario, lo aumentase. Supuso, por ejemplo, que la hipótesis auxiliar de Fitzgerald y Lorentz de la contracción era insatisfactoria, sin consecuencias falsables y solamente útil para restaurar un acuerdo entre una teoría y la experimentación. En esta situación, sólo la teoría de la relatividad especial habría logrado un progreso (Popper, 1982, 79). Popper no ha tenido en cuenta que de esta teoría se infiere un tipo de contracción análoga a la establecida por Fitzgerald y Lorentz, por lo que Fitzgerald y Lorentz, con su interpretación, conmovían la propia mecánica newtoniana. Tampoco nos ha dicho nada acerca de que Einstein había sostenido que el experimento de Michelson no había influido en la elaboración de su teoría de la relatividad especial. Lo que Popper omitió, en realidad, es el problema del contexto. En un contexto diferente, la hipótesis de que la luz se propaga de igual manera en todas las direcciones, hubiese aumentado la contrastabilidad favorable a la hipótesis que sostenía que la Tierra se hallaba en reposo absoluto, y hubiese servido para falsar la teoría que sostuviese su movimiento -como la copernicana- disminuyendo la fuerza de otras contrastaciones favorables. En otro contexto, en cambio, la misma hipótesis intervino, en primera instancia, como hipótesis auxiliar pero de manera diferente, aumentando la falsabilidad de que la Tierra se movía respecto del éter o que el éter mismo existía, suponiendo como un hecho que la Tierra se movía, esto es, empleando esta última hipótesis como auxiliar. Algo análogo sucedió, según vimos, con el problema de la ubicación privilegiada o no de la Tierra y el efecto Doppler.

Lakatos, por su parte, ha afirmado que el término "experimento crucial" es un título honorífico que puede conferirse a ciertas anomalías, pero sólo mucho después del evento, y que ningún experimento fue crucial cuando fue llevado a cabo (Lakatos, 1987, 27). Creemos que es crucial el contexto en el que una teoría es corroborada, lo que atenúa el criterio de que el contexto de justificación, por sí mismo, sea suficiente para contrastar las hipótesis.

Bibliografía

- Bernal, J. (1981), *La ciencia en nuestro tiempo*, México, UNAM-Nueva Imagen, 4ª. edic.
Di Trocchio F (1998), *Las mentiras de la ciencia*, Madrid, Alianza.
Feyerabend P. (1984), *Adiós a la razón*, Madrid, Tecnos, 1984.
Jaffe B. (1961), *Michelson y la velocidad de la luz*, Buenos Aires, Eudeba.
Lakatos I. (1987), *Historia de las ciencias y sus reconstrucciones racionales*, Madrid, Tecnos, 1a. reimpr.
Levinas M. L. (2000), *Las imágenes del universo. Una historia de las ideas del cosmos*, Buenos Aires, FCE, 2a. edic.

Michelson A. (1881), "The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether", *Am. J. Sci.*, Vol. 3, 120.

Popper K. (1982), *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos, 6a. reimpr.

Shapin S. (2000), *La revolución científica. Una interpretación alternativa*, Barcelona, Paidós.

Weinberg S. (1972) *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, New York, Wiley.

Notas

1 Este trabajo fue expuesto en las XIII Jornadas de Epistemología (2002) pero no formó parte del anterior volumen de Epistemología e Historia de la Ciencia debido a una omisión no intencional. (Nota de los editores)

2 Notemos que el péndulo de Foucault, que dio cuenta del movimiento de rotación de la Tierra por medios mecánicos, recién fue diseñado en 1851.