

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XV JORNADAS

VOLUMEN 11 (2005)

TOMO II

Horacio Faas

Aarón Saal

Marisa Velasco

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



Cómo opera el cambio conceptual: cuatro ejemplos de los estrechos vínculos entre la filosofía y la historia de la ciencia

Marcelo Leonardo Levinas*

Toda interpretación alternativa de los resultados de un diseño experimental involucra nuevas intuiciones y representaciones en íntima relación con los llamados *cambios conceptuales*. Estos cambios provocan las necesarias reestructuraciones en los contenidos de los conceptos. Sin embargo, en las presentes teorías sobre cambio conceptual, no se suele analizar cómo opera en los llamados experimentos cruciales (Schnotz et al., 1999) (Limón and Mason, 2002). Los experimentos cruciales suelen diseñarse con el objeto de confirmar o refutar determinada hipótesis, un grupo de hipótesis o una teoría completa, a pesar de que no existe un esquema lógico para verificar una hipótesis o un conjunto de hipótesis y que, respecto de la refutación, ningún resultado observacional que sea contradictorio con lo que una hipótesis predice resulta suficiente para que se la considere refutada. Por el contrario, toda hipótesis es aceptada o rechazada a partir de complejos procesos que incluyen elementos “complementarios” a los propios esquemas lógicos de explicación.

Para establecer qué elementos operan en el cambio conceptual, comenzaremos con el análisis de lo que afirma Galileo en un fragmento de sus relativamente poco conocidas *Considerazioni circa l'opinione copernicana* de 1615: “... [Copérnico], inducido por la autoridad de autores antiguos tan numerosos como ilustres, procedió a considerar las hipótesis del movimiento de la Tierra y de la inmovilidad del Sol. Sin la autoridad y el ejemplo de estos, nunca se le hubiera ocurrido tal idea o en caso de hacerlo, le hubiera parecido –como él mismo reconoce que le ocurrió en un principio– una inmensa paradoja, pero después de largas observaciones, de todo tipo de coincidencias y de rigurosas demostraciones, ese sistema le acabó pareciendo tan acorde con la armonía del universo, que quedó plenamente convencido de su verdad” (Galilei, 1615, 78). Aquí se exhiben las cuestiones fundamentales atinentes a lo que queremos discutir acerca de los procesos que involucran cambios conceptuales. Galileo reconoce la importancia de la autoridad invocando el hecho de que se ha logrado asumir en el pasado la antiintuitiva idea del movimiento terrestre, abandonándose la intuitiva teoría geocentrista. Sin embargo, parece desconocer que Copérnico no realizó esas “largas observaciones” de las que habla. En *Sobre las revoluciones*, Copérnico sólo incluyó 27 observaciones propias y la mayoría de los datos los tomó de la teoría rival, o sea la geocéntrica, en la cual existía el mismo presupuesto fundamental aristotélico que empleaba Copérnico: todos los movimientos debían consistir en una combinación de movimientos circulares. “Las rigurosas demostraciones” de las que habla Galileo se refieren, en muchos casos, a experiencias tomadas como cruciales en favor

* Universidad de Buenos Aires. CONICET

leo@levinas.com.ar

Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 11 (2005)

del heliocentrismo que incluían hipótesis *ad hoc* (como el que los movimientos de retrogradación de los planetas eran aparentes o que la distancia de las estrellas era enorme comparada con el tamaño de la órbita de la Tierra). Galileo tampoco indica las serias dificultades del sistema copernicano que, de hecho, no resultaba puramente heliocéntrico: el Sol parecía moverse alrededor del centro del universo (Copérnico, 1543, III-23). Cuando Galileo habla de "rigurosas demostraciones", no hace referencia a las complejas razones por las que Copérnico *no* se animó a editar su obra por varios años y que debemos atribuir a la existencia de profundas anomalías, a la inclusión de una cantidad excesiva de círculos y a las excesivas complicaciones del orden de las del sistema ptolemaico. Todos estos elementos incluidos en las *Considerazioni* han aparecido con frecuencia toda vez que se haya requerido apoyar o refutar una hipótesis vía un experimento crucial: invocar la autoridad de quien lo diseñó y lo interpretó, desdeñar el hecho de que los resultados observacionales también pueden estar de acuerdo con las predicciones de otra teoría (incluida la rival), emplear hipótesis auxiliares no aclaradas e incluso hipótesis *ad hoc*, seleccionar los problemas que pueden ser resueltos disimulando las patologías o incluso algunas inconsistencias de la teoría bajo análisis.

Aquí queremos discutir las consecuencias de estos puntos a la hora de modificarse el contenido de un concepto (como ser el concepto "Tierra") y el carácter de las representaciones asociadas a lo deliberadamente observado en una experiencia. Para ello, resulta imprescindible tener en cuenta el rol de las hipótesis auxiliares las que, con frecuencia, se relacionan con teorías referidas a otro tipo de fenómenos. Es común 1) que las hipótesis auxiliares se hallen implícitas, 2) que no hayan sido corroboradas o 3) que ambas situaciones se den simultáneamente.

Ejemplo 1: La forma de la superficie terrestre

Una concepción común acerca de la forma de la Tierra surge del relevamiento de su superficie cuando es observada desde cierta altura: plana con un límite o abismo circular (Anaximandro V a.C., posiblemente el primer cartógrafo griego, pensaba que la Tierra era un cilindro cuya altura equivalía a un tercio de su anchura). Sin embargo, en la antigüedad griega la tendencia fue suponer que la Tierra era redonda, a partir de una serie de especulaciones, algunas provenientes de la observación directa (la sombra circular de la Tierra durante un eclipse de Luna o la disminución de la cantidad de estrellas circumpolares conforme el observador se desplazaba hacia el sur); otras, en cambio, fueron provistas por meras consideraciones de simetría (como que la materia terrestre debía reunirse adoptando la forma esférica). El argumento que históricamente poseyó mayor peso fue recreado por Copérnico en *Sobre las revoluciones*: "También se deduce [la esfericidad de la Tierra] porque las aguas surcadas por los navegantes tienen esta misma figura [esférica]: puesto que quienes no distinguen la tierra desde la nave, la contemplan desde la parte más alta del mástil. desde la tierra a los que permanecen en la orilla, les parece que desciende poco a poco al avanzar la nave, hasta que paulatinamente se oculta, como poniéndose". (Copérnico, 1543, I-2). Copérnico no lo indica, pero para sostener el argumento es necesario que la luz se propague en línea recta, hipótesis auxiliar crucial e implícita que apoya la hipótesis fundamental referida a la forma redonda de la superficie de la Tierra. Caso contrario, y siguiendo en este punto un ejemplo clásico de I. Copi (Copi, 1953, XIII), lo señala

lado por Copérnico hubiese sido compatible con la hipótesis de una Tierra plana. De hecho, la luz se refracta debido a los cambios en la densidad y temperatura del aire, lo que podría indicar una propagación no rectilínea.

¿Qué sucedería si las trayectorias luminosas siguiesen la forma de la superficie terrestre (de acuerdo con ciertas leyes de la Relatividad General)? Podría observarse la totalidad del barco que se aleja y la disminución de su tamaño; es más, el horizonte podría desaparecer. Por otro lado, nunca se observa un objeto (por caso, un farol) que se encuentra situado del otro lado de una esquina, lo que en principio sustenta la hipótesis de una propagación rectilínea de la luz; sólo en principio ya que, en cambio, *sí* se observa la luz del farol debido a su desviación como producto de su reflejo en las partículas de polvo –lo que de hecho modifica la trayectoria rectilínea de la luz– algo que *no* se registraría en el vacío, vacío que *no* era aceptado en tiempos de Copérnico. Propagación de la luz y visión de la luz no son equivalentes. Vemos la no trivialidad del problema, la que nos viene indicada, además, por el hecho de que la mayoría de los estudiosos de la óptica en la época de Copérnico eran extromisionistas, esto es, creían que la visión se dirigía del ojo al objeto y no a la inversa (intromisionismo); tal el caso de León Bautista Alberti, autor del primer tratado de perspectiva moderna en 1435 y del propio Galileo, como veremos.

El abandono de la experiencia de observar la superficie de la Tierra y la correspondiente representación natural de su planitud, requieren de un cambio conceptual en el que se asuma la hipótesis de la propagación rectilínea de la luz para así compatibilizar lo observado con un “nuevo” concepto de Tierra, por caso el de un “cuerpo con superficie redonda”. En otras palabras: mientras que la intuición originaria se vinculaba con una atención hacia la forma aparente –esto es plana– de la superficie de la Tierra, lo que de hecho convertía la hipótesis de la forma de la Tierra en un dato, ahora, en cambio, la atención hacia el fenómeno de un barco alejándose, conduce a una conclusión no originada en una intuición natural sino en una forzada. El sujeto adopta la intuición correspondiente a un nuevo fenómeno que opera como dato: la diferente situación que observa para el mástil y el casco. De hecho, el fenómeno entendido en el marco de una experiencia cuya intención deliberada es mostrar la redondez, resulta asumido como prueba positiva de la forma esférica de la Tierra, algo que se torna intuitivo a través de la mediación de la atención hacia dicho fenómeno. La hipótesis auxiliar puede permanecer –como dijimos– implícita e incluso oculta. En este sentido opera el sentido de autoridad claramente traducido en la intención de atender al fenómeno, lo que se traduce en la particular presentación de lo que debe ser observado y en la propia interpretación que hace que el paulatino ocultamiento del barco provoque la intuición de la “nueva” forma de la Tierra; donde el barco pasa a ser un elemento más de su superficie! Las intuiciones correspondientes al concepto Tierra en tanto “Tierra plana” o “Tierra redonda” resultan, claramente, diferentes. Una opera de manera *directa*, la otra como un *resultado* que requiere de un razonamiento. Aun más, si la redondez de la Tierra fuese asumida como dato, la experiencia del barco podría presentarse proveyendo un razonamiento favorable a la hipótesis de la trayectoria rectilínea de la luz.

Ejemplo 2. El movimiento terrestre

Una dificultad de tipo dinámica del sistema copernicano fue la del comportamiento de los cuerpos desligados de la superficie de una Tierra rotando a gran velocidad (de manera máxima en el ecuador). ¿Por qué si la Tierra se movía, entonces todo cuerpo dejado caer desde cierta altura no caía hacia el oeste? Esta experiencia fue presentada como crucial y con carácter refutatorio para movimiento terrestre (por ejemplo por Ptolomeo en el siglo II d.C.) e, históricamente, como análoga al de un hombre que deja caer una piedra desde lo alto del mástil de un barco moviéndose a velocidad constante. Por su parte, Galileo –principal defensor del sistema copernicano de la primera mitad del siglo XVII– sostuvo en sus *Diálogos* que no era necesaria la experiencia para demostrar que la piedra caería al pie del mástil y que bastaba con razonar adecuadamente (Galilei, 1632, Jornada Segunda). Precisamente aquí, resulta interesante introducir un argumento galileano que relaciona este problema con la trayectoria de los rayos luminosos (vinculado a la discusión anterior): “Salviati: ... imagínate que estás en un barco con tus ojos fijos en un punto del palo de la vela. ¿Piensas que porque el barco se mueve rápidamente tendrás que mover tus ojos sobre ese punto del palo y seguir su movimiento?” La respuesta de Simplicio es que no. Después Salviati dice: “Y esto ocurre porque el movimiento que el barco confiere al palo te lo confiere también a ti y a tus ojos, de modo que no necesitas moverlos nada para mirar a lo alto del palo (...) Y los rayos de la visión van desde el ojo al palo justo como si una cuerda estuviese atada a los dos extremos del barco” (Galilei, 1632, Jornada Segunda). Extromisionismo puro. La idea de que *ver* el movimiento depende del movimiento *relativo* ya había sido afirmado mucho antes por Euclides en su *Óptica*. El aporte de Galileo fue comparar el problema de la caída de un cuerpo desde lo alto de un mástil en un barco en movimiento a velocidad constante y la caída de un objeto desde una torre situada en una Tierra, supuestamente en movimiento, introduciendo la *inercia*: en el sentido “horizontal” la piedra sigue un movimiento *uniforme*, el mismo que sigue la torre solidaria con la Tierra en un caso, y el mástil solidario con el barco en el otro caso: ¡no importan las velocidades involucradas! “Verticalmente”, en cambio, los cuerpos son *acelerados* debido a su peso. El resultado es el de dos movimientos superpuestos. Tanto desde la torre como desde el mástil, el movimiento “horizontal” no se observa ya que torre y mástil lo siguen por igual. Esta es la razón por la cual, si se realiza la experiencia en un barco cubierto y el objeto cae al pie, no se puede saber si el barco está anclado en puerto o en movimiento uniforme en alta mar. Cuando realizamos el experimento de la torre, no nos percatamos de que la Tierra se mueve dado que los cuerpos que caen se comportan respecto de ella igual manera, así ella se mueva o no.

La hipótesis auxiliar, históricamente introducida para sostener la hipótesis fundamental del movimiento de la Tierra y salvar la experiencia de la torre de los embates geocentristas fue, entonces, el principio de inercia, aunque la inercia, por su propia definición, resulte inobservable ya que requeriría de un cuerpo absolutamente aislado y por lo tanto la ausencia de todo sistema de referencia para medir, sin interferencias, su movimiento.

Feyerabend, refiriéndose al problema de torre y del barco, ha sostenido que Galileo utilizó de manera propagandística determinados elementos que sugería

aceptados aplicando las nociones relativas no sólo a los barcos o pájaros sino también a la "sólida y bien asentada Tierra" como un todo. A esto Feyerabend lo llamó *anamnesis*: una nueva interpretación natural introducida sin que se perciba el cambio que ha tenido lugar. Se necesitaba una interpretación que convirtiera el movimiento de la Tierra en una instancia refutatoria de la dinámica antigua sin prestar un apoyo *ad hoc* al movimiento de la propia Tierra. Para ello, lo que funcionaba *ad hoc* era la rotación de la Tierra. El paso siguiente consistió en elaborar la hipótesis para hacer posibles predicciones adicionales, por caso desarrollar el heliocentrismo o resolver el problema del barco. Este movimiento ya era compatible con la torre, no era refutado por ésta (Feyerabend, 1981)

Lo representado, una vez más, se vincula con lo directamente observado en un caso (que la Tierra está en reposo), mientras que en el otro caso se vincula con algo no observado (que la Tierra está en movimiento). Las correspondientes intuiciones no son simplemente opuestas; más bien resultan de otro orden: se intuyen objetos y fenómenos diferentes. El cambio conceptual exigido en el pasaje de "Tierra, cuerpo en reposo respecto del cual se mueve todo el universo" a "Tierra planeta", implica razonamientos diferentes, condiciones iniciales diferentes, formas de atender a un mismo fenómeno de maneras diferentes, intencionalidades diferentes, intuiciones diferentes. Por eso Husserl señala: "(...) la apercepción moderna del mundo (...) no ha llegado a ser para nosotros apercepción del mundo verificada en una intuición del mundo que se haya llevado a cabo de manera efectiva. (...) Pero mientras yo no tenga representación alguna de un nuevo suelo -uno desde el cual la Tierra pudiera tener (...) el sentido de un cuerpo físico cerrado, en movimiento y reposo-, (...) [entonces] la Tierra misma es, justamente, suelo, no un cuerpo físico. La Tierra no se mueve - (...) esto sólo puede significar que cada fragmento de la Tierra (...) sí que reposa o se mueve, y sí que es un cuerpo físico-. La Tierra, en cambio, es un todo cuyas partes (...) son cuerpos físicos, pero que como "todo" no es un cuerpo físico alguno. He aquí un todo que "consta" de partes corpóreas sin ser por ello un cuerpo físico" (Husserl, 1934, 16 y 21). O sea que el fenómeno Tierra en reposo requiere del concepto Tierra entendido como "suelo" imposible de moverse. La objeción de Husserl a la tesis de Copérnico se refiere a una hipótesis que no ha tenido comprobación intuitiva. De moverse la Tierra, se trataría de un cuerpo más, a lo que le correspondería otra intuición. Con esto se relaciona el cambio conceptual del concepto "Tierra". (Es interesante recordar que para Copérnico la Tierra, de hecho, no existía como tal, sino que era un conjunto de cuerpos cuya propiedad fundamental era reunirse en torno del centro terrestre y orbitar en torno al Sol a cierta distancia y que la piedra dejada caer de la torre poseía, en consecuencia, un movimiento natural circular y uno rectilíneo forzado.)

En el planteo ptolemaico del experimento de la torre, el sujeto observa e incorpora un dato (que la piedra cae al pie). es forzado a asumir que el experimento refuta la hipótesis de la Tierra en movimiento de acuerdo con una intuición directa. En términos husserlianos, puede intuirlo como suelo fijo, referente del espacio, definiendo el espacio: todo movimiento o reposo se ofrece respecto de ella. La intuición que correspondería a la Tierra en movimiento, en cambio, correspondería a intuir un cuerpo en movimiento en un espacio definido de manera indepen-

diente a la Tierra. Un cambio conceptual requerido, esta vez, para interpretar una "misma" experiencia de manera completamente diferente.

Ejemplo 3: La constancia de la velocidad de la luz

El experimento realizado por Michelson de 1881 se inspiraba en una conjetura: que la luz necesitaba un medio para moverse. Si la Tierra se movía respecto del éter, entonces, en la dirección del movimiento terrestre debía registrarse una velocidad para la luz *diferente* a la velocidad que debía llevar la luz cuando ella se viajaba perpendicularmente; sin embargo, tal diferencia *no se verificaba*. ¿La Tierra arrastraba al éter? Einstein interpretó que el éter *no existía* y que la velocidad de la luz era *constante*, o sea independiente del movimiento del observador o de la fuente de luz. Pensemos en la importancia del presupuesto de que la Tierra se mueve y remontémonos al momento en que esa idea se hallaba en discusión. Si el experimento de Michelson se hubiese llevado a cabo en la época de Galileo cuando se discutía la idea del movimiento terrestre (lo que teóricamente hubiese sido posible dada la relativa independencia de la historia de la espectroscopía respecto de la de la mecánica), ¿no hubiese esto actuado como un dato concluyente de que la Tierra estaba inmóvil? Sin duda, ello hubiese resultado más intuitivo que suponer que la luz se propagaba con igual velocidad así viajase en sentido favorable o contrario a un observador en movimiento (como en cambio y sin duda lo hacen los proyectiles o el sonido y todos los objetos). Lo cierto es que la hipótesis fundamental en el ejemplo de la torre (el movimiento de la Tierra), operó como hipótesis auxiliar (el movimiento de la Tierra establecido como un hecho) en el caso de la velocidad de la luz. Claro que la representación correspondiente a "movimiento" para el caso de la Tierra es diferente al del caso de la luz; el concepto "movimiento" posee, en cada caso, un contenido diferente. Así, por ejemplo, para la luz, el tiempo no transcurre, lo que resulta incompatible con la definición clásica de velocidad, tomada para un móvil cualquiera.

Ejemplo 4. La ubicación de la Tierra

En 1929, Hubble interpretó el corrimiento al rojo de ciertas estrellas de acuerdo con lo mostrado por efecto Doppler, lo que suponía su alejamiento. Estableció una ley que consistía en suponer a) que todas las galaxias típicas se *alejaban* de nosotros, b) que lo hacían a *mayor velocidad* cuando más lejos estaban. Este resultado hubiese podido obtenerse aproximadamente también en el siglo XVII en momentos en que se discutía la posición de la Tierra y su movimiento, pero hubiese operado como una prueba de que la Tierra era el *centro del Universo*. En efecto, si *todo* se aleja de la Tierra simétricamente, hubiese sido razonable pensar que la Tierra era el centro de los movimientos y por lo tanto del universo. Sin embargo, la hipótesis auxiliar que permite renegar de la idea de que la Tierra es el centro, es la de la *expansión* del universo, siendo éste isótropo y homogéneo. Por eso el principio cosmológico afirma que en cualquier punto del universo debe observarse la misma situación. El alejamiento de las galaxias puede interpretarse, entonces, asumiendo una forma de movimiento *conceptualmente nueva*: no se trata del movimiento propio de los cuerpos sino de una expansión del propio espacio, una modificación de su métrica, elemento que mide las distancias entre los puntos sobre una variedad lineal. La intuición correspondiente a "velocidad", aquí, se

corresponde con un contenido drásticamente diferente al originalmente definido en la mecánica. Velocidad acoplada a un cuerpo se *convierte* en velocidad acoplada a una suerte de dilatación del espacio que aleja a las galaxias entre sí. Y la hipótesis auxiliar en los 30', históricamente trivial pero no por ello menos crucial, era que la Tierra *no* ocupaba el centro del universo.

Referencias

- Copérnico N (1543), *Sobre las revoluciones*, Madrid, Tecnos, 1987
Copi I. (1973), *Introducción a la lógica*, Buenos Aires, EUDEBA, 14ª. edic.
Feyerabend P (1981), *Tratado contra el método*, Madrid, Tecnos.
Galilei G. (1615), *Considerazioni circa l'opinione copernicana*, en *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, Madrid, Alianza, 1983, p. 71-87.
Galilei G. (1632), *Diálogos sobre los sistemas máximos*, Buenos Aires, Aguilar, 1975.
Husserl E. (1934), "La Tierra no se mueve", Madrid, Fac. Filosofía y Letras de la Univ. Complutense, 1995.
Limón M. and Mason L. (eds.) (2002) *Reconsidering Conceptual Change* Kluwer.
Schnotz W., Vosniadou S. and Carretero M. (eds.) (1999) *New perspectives on conceptual change*, Amsterdam, Elsevier.