

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



La tensión creadora entre la especulación y la experimentación en el trabajo de Michael Faraday

Penélope Lodeyro*

Introducción

El concepto de campo físico constituye una de las mayores innovaciones en la física del siglo XIX. En una caracterización general, este concepto podría ser entendido como ciertas modificaciones, *físicamente reales*, de un medio cuyas propiedades determinan la acción dinámica que se lleva a cabo (N. Nersessian, 1984). Por lo tanto, la pregunta central en conexión con cualquier teoría de campo de fuerzas es cómo, mediante qué procesos, pueden las fuerzas en cuestión *ser transmitidas continuamente a través del espacio* donde no hay materia “ordinaria”. En este sentido, la noción de campo introdujo un nuevo modo de conceptualizar las acciones físicas entre los cuerpos que se convirtió en la alternativa científica – filosófica viable a la oscura concepción de *acción a distancia*.

Michael Faraday fue el primero en formular de modo significativo la noción de campo de fuerza. Es en relación con su trabajo en electricidad y magnetismo, en las décadas de 1830 y 1840, que aparece por primera vez como fundamental a la descripción de dichas acciones la noción de *procesos físicos* ocurriendo en el espacio circundante a las cargas y los cuerpos. Faraday era quizás el candidato ideal para introducir una nueva visión de mundo, ya que si bien no tenía demasiada formación matemática, era un gran “especulador” y un experimentador brillante. Quería saber más acerca del universo: su interés tenía que ver con “los profundos designios de la naturaleza”¹. Consideraba que los problemas específicos que trataba, podrían aportar algo nuevo a la verdadera descripción del mundo.

El método de Faraday presenta la peculiaridad de pasar de las especulaciones más abstractas directamente a los experimentos, sin crear ninguna *teoría matemática* intermedia que los articule. Como veremos, la especulación era guía para sus experimentos y la experimentación nutría a su vez sus especulaciones. Pese a este equilibrio, hay que destacar la actitud ambigua de Faraday hacia la especulación: por una parte la consideraba fuente de toda idea innovadora pero por otra parte, era consciente del peligro de caer en el prejuicio de sus propias concepciones. En toda su obra se refleja esta ambivalencia: especulaba continuamente y estas especulaciones guiaban su investigación, pero conservaba una actitud cautelosa intentando reservarla del público hasta ganar más confianza en ella. Siempre supo separar sus especulaciones de las hipótesis apoyadas por los datos experimentales. Le llevó años convencerse de que su modelo de acción continua era el adecuado, pero tras arduo trabajo experimental notamos que se vuelve más confidente admitiendo que las líneas de fuerza parecen tener “existencia física independiente”.

Si bien “especulación” puede usarse en diversos sentidos, en este contexto nos referimos a “una representación intelectual de algo de interés, cierta reestructuración de las ideas que nos

* Universidad Nacional de Córdoba.
Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 12 (2006)

lleve por lo menos a un entendimiento cualitativo de alguna característica general del mundo".² En el presente trabajo analizaremos cómo se resuelve en la producción de Faraday la relación entre especulación y experimentación, y cómo la tensión creadora entre estos dos aspectos dio origen al concepto de campo. El trabajo de Faraday es sumamente extenso y casi su totalidad ilustra estos puntos. Nosotros nos limitaremos a analizar, el caso de la inducción electromagnética -uno de sus descubrimientos más importantes- porque fue a partir del mismo que Faraday introdujo el concepto de líneas de fuerza bajo el cual se articula su noción de campo.

La especulación: una nueva visión de mundo

Debido a la actitud de reserva de Faraday hacia la especulación que ya hemos mencionado, no es sencillo decir cuando emergió su concepción inicial del campo de fuerza. Para 1821, mostraba ya una actitud escéptica hacia la noción de acción a distancia, que lo separó de muchos pensadores de la época.

Los objetivos personales de Faraday y su concepción metafísica ejercieron gran influencia sobre su elección de los problemas a investigar y la forma de abordarlos. No debemos descuidar sin embargo, los aportes que recibió de la filosofía y ciencia de su época. Por ejemplo, sus especulaciones se encontraban en línea con sus creencias religiosas, Faraday era un hombre profundamente religioso por lo que bogaba por una concepción unificada de la naturaleza. En apoyo de esta idea, había ciertos argumentos más próximos a lo experimental, la pila voltaica y la disociación de sustancias por el paso de la corriente ponían de manifiesto que existía una íntima relación entre la electricidad y la afinidad química. Además, para explicar la combinación y descomposición química, se supuso que había una gran variedad de afinidades químicas que determinaban la interacción de algunas sustancias químicas con otras. Ambos hechos conducían a postular *una sola clase de fuerza*.

W Berkson señala dos nociones fundamentales en la concepción metafísica de Faraday: (1) la hipótesis de que *las fuerzas constituyen la única sustancia* y (2) el rechazo de la noción de acción a distancia. La idea (1), presente ya en las metafísicas de Kant y Bosovich, supone que todas las fuerzas (magnéticas, gravitacionales, químicas, eléctricas) constituyen manifestaciones de una única fuerza fundamental. En consecuencia, serían directamente convertibles unas en otras. Así, por nombrar un caso, Faraday consideró el descubrimiento de Oersted como la transformación de la fuerza eléctrica en magnética preguntándose a su vez si era posible transformar la fuerza magnética en eléctrica; incluso más tarde, intentaría transformar el magnetismo en luz y la electricidad en gravedad. Esta idea le llevó a su vez, al rechazo de la materia extensa como distinta de la fuerza (donde se aprecia claramente la influencia de la concepción bosovichiana de la materia), no hay puntos materiales con fuerzas asociadas, las partículas no son más que los puntos de convergencia de las fuerzas. Coincidimos con N Nersessian en que sólo a la luz de esta teoría puede comprenderse cabalmente el significado de la convicción de Faraday de la unidad de la fuerza: si los átomos no son más que los lugares de convergencia de las líneas de fuerza, si todas las acciones tienen lugar a través de líneas de fuerza, y si las líneas de fuerza son las únicas sustancias, se sigue consistentemente que todas las fuerzas deberían ser interconvertibles y unificadas.

Por último, la idea de que la fuerza constituye la única sustancia le condujo a la noción de conservación de la fuerza pues, si la fuerza fuese creada tendría que haber sido creada a partir de la nada o ser un milagro, y para que pudiese desaparecer del sistema habría que renunciar a considerarla como la sustancia "básica". Sin embargo, conviene aclarar que la teoría de Faraday no responde preguntas esenciales como: al calcular la fuerza total, ¿cómo sumamos las fuerzas, vectorialmente (incluyendo direcciones) o algebraicamente? Y ¿cómo depende del tiempo el flujo de fuerza? Fue Helmholtz quien desarrolló en 1847 la teoría de conservación de la energía; en Faraday estamos hablando de una especulación, que si bien tuvo incidencia en su trabajo experimental, no puede definirse propiamente como una teoría científica.

Por otra parte, diremos que su continuo rechazo de la noción de acción a distancia (hipótesis (2)) le llevó a elaborar su novedosa concepción de "acción contigua" con pedazos de materia/fuerza que actúan sólo sobre sus vecinos inmediatos. Así, estas dos ideas centrales nos permiten resumir la concepción de mundo de Faraday: la fuerza es una sustancia universal que ocupa todo el espacio; cada punto del campo tiene asociada una intensidad y dirección; dependiendo de la intensidad y dirección de la fuerza, el punto de fuerza hará que los puntos vecinos se muevan. Por lo tanto, todos los puntos de fuerza interactúan con sus vecinos (puntos contiguos) dando lugar a los diferentes fenómenos físicos.

El sistema puede resultar algo vago por que no nos dice de qué forma se distribuye la fuerza en torno a un punto de fuerza, ni mediante qué leyes interactúa una fuerza con las contiguas. Si bien más tarde logró aclarar su concepción inicial introduciendo el concepto de líneas de fuerza debemos notar que nunca llegó a una versión completamente articulada de una teoría de campo.³

La experimentación: el caso de la inducción electromagnética

En 1820 Oersted había mostrado que una corriente eléctrica constante en un alambre produce efectos magnéticos, por simetría se esperaba que una fuerza magnética constante produjera efectos eléctricos. Esto no fue lo que se observó experimentalmente y fue Faraday quien descubrió que se necesitaba una fuerza magnética *cambiante*. Sus especulaciones, que hemos analizado, le llevaron a idear el primer experimento en torno a la inducción electromagnética hacia 1825. Berkson señala como otra influencia fundamental de este descubrimiento cierta teoría antinewtoniana de la electricidad que Faraday había elaborado por ese entonces.

Por una parte, dada la concepción de Faraday de la materia como fuerza, un cable en presencia de un campo magnético debería encontrarse en un estado especial, probablemente un estado de tensión. Como un cuerpo no es sino un complejo de fuerzas, y las fuerzas exteriores son de la misma naturaleza, éstas deben interactuar con las del cuerpo, produciendo una alteración de su estructura. Pero por otra parte, señala Berkson, la corriente es para Faraday la vibración de grados variables de tensión en un conductor. Así, podía esperarse que la variación de la intensidad de la fuerza magnética sobre un conductor provocara un cambio en la tensión del mismo y afectara de este modo la intensidad de la vibración que discurre por el cable. Por ejemplo, un aumento en la fuerza magnética podría constreñir la vibración y provocar una disminución de la corriente.

Entonces, Faraday colocó imanes en distintas posiciones en las cercanías de cables conductores de corriente con diferentes formas, helicoidales, espirales, etc., pero no logró detectar ningún cambio en la intensidad de la corriente. Pese a los resultados negativos, el descubrimiento de F. Arago de 1824, aportó nuevas razones para que Faraday pensara que el magnetismo podía transformarse en electricidad. Arago descubrió que si suspendemos una aguja imantada sobre un disco de cobre, al cual hacemos girar, la aguja gira con él; y que si un imán gira sobre sus extremos, el disco también gira. El fenómeno de Arago debió reafirmar el pensamiento de Faraday de que la materia debe estar en un estado especial en las proximidades de un cable o un imán.

Hoy sabemos que el campo magnético ha de estar variando en alguna parte del circuito para que se produzca la inducción. Para que el campo varíe, puede moverse el cable o el imán. Pero Faraday lo consiguió de otro modo: utilizando un electroimán, podemos cambiar el campo magnético modificando la corriente en las bobinas (lo importante parece es que haya un cambio en la "cantidad" de campo magnético atravesando el circuito de la espira cerrada). Berkson señala que Faraday utilizó un electroimán en su experimento de 1831 influenciado por la observación de su amigo G. Moll, de la propiedad que tienen los electroimanes de invertir su polaridad casi instantáneamente. Dada la creencia de Faraday de que un cable en el seno de un campo magnético debe estar en un estado de tensión, y que la corriente era una vibración de las fuerzas del cable un cambio brusco de la fuerza magnética que actúa sobre el cable, como el producido por la repentina creación de un electroimán ¿podría provocar un cambio en el estado de tensión del cable? Si la fuerza se conserva, como hemos señalado que este era el caso para Faraday, la variación de intensidad de la fuerza que transcurre por un cable deberá quedar compensada por algún cambio en las fuerzas circundantes. "Parece lógico, por tanto, que un cambio repentino de la fuerza que actúa sobre un cable provocara una vibración en sus fuerzas (su materia), y que esa vibración, de acuerdo con la teoría de la corriente de Faraday, fuese una corriente eléctrica"⁴.

El dispositivo que utilizó Faraday en su experimento era un anillo grueso de hierro al cual se había enrollado varias veces, en una de sus mitades, un cable cuyos extremos iban a una batería; en la otra mitad se repitió tal disposición, sólo que los extremos del cable se unían a un galvanómetro. Construyó así, con la primer mitad, un poderoso electroimán que esperaba actuara intensamente sobre el circuito cercano (la segunda mitad) al imanarlo. Al cerrar el circuito de la batería, el anillo quedaba imanado y el galvanómetro indicaba el paso de la corriente. A la inversa, cuando se abría el circuito, y el anillo se desimantaba, se registraba nuevamente una breve corriente, llamó a este efecto inducción "volta-eléctrica". Faraday había conseguido transformar el magnetismo en electricidad.

Realizó luego una serie de experimentos, para establecer su teoría. Comprobó que dado un imán permanente y un conductor cercano, el movimiento de cualquiera de los dos produce una corriente que permanece hasta que dicho elemento vuelve al reposo, llamó a este efecto, inducción "magneto-eléctrica". Faraday reconoció ambos efectos como el mismo y en un principio postuló una "nueva condición de la materia" para explicar por qué sólo una fuerza magnética variable inducía una corriente. La presencia de una fuerza magnética siempre

produce un estado de tensión en el conductor: el estado electrotónico. Introducir o quitar la fuerza aumenta o relaja la tensión produciendo una corriente.

Utilizando su teoría pudo explicar el mencionado fenómeno de Arago, la imanación del disco de cobre giratorio se debía a las corrientes inducidas. Para contrastar experimentalmente esta hipótesis, hizo girar un disco de cobre entre los polos magnéticos de un imán en herradura, captando las corrientes que esperaba se generasen colocando un cable sobre la circunferencia y otro en el centro del dispositivo rotatorio. Así, pudo obtener corrientes continuas con sólo girar el disco. Publicó sus resultados en la primera serie de los *Experimental Researches in electricity*.

Faraday dejaría de lado la noción del estado electrotónico por un tiempo, en parte por que no pudo observar experimentalmente el efecto y en parte por su intento de lidiar con el problema de cómo una corriente podía producirse *simplemente por el movimiento*. Este problema surgió a partir del experimento de "inducción unipolar", que lo condujo a introducir el concepto de *líneas de fuerza*. Faraday veía que en su experimento del disco giratorio de cobre la cantidad de corriente no parecía deberse únicamente a las partes del disco que atravesaban regiones de diferente intensidad magnética. Se le planteó la cuestión de:

Si era o no esencial que la parte móvil del cable (o del disco conductor), al cortar las curvas magnéticas, pasara a posiciones de menor o mayor fuerza magnética; o si, cortando siempre líneas magnéticas de la misma intensidad, el simple movimiento era o no suficiente para el paso de la electricidad.⁵

Para el experimento utilizó un disco de cobre sujeto sobre el extremo de uno de los polos de una barra magnética cilíndrica que giraba solidariamente en torno al eje del imán, del disco salían dos cables, uno del centro y el otro del borde. En un dispositivo de este tipo, la fuerza magnética sería simétrica con respecto al eje del imán y del disco. Es decir, si tomamos un plano que corte al eje perpendicularmente y dibujamos en él un círculo con centro en el eje, la intensidad de la fuerza magnética será la misma en cualquier punto del círculo. Por lo tanto, si el imán y el disco giran en torno a su eje común, ningún punto experimentará un cambio en la intensidad de la fuerza magnética que actúa sobre ellos. Faraday descubrió que cuando el imán y el disco giran juntos se produce una corriente continua, resultado idéntico al del experimento anterior en el que sólo giraba el disco de cobre. En sus *Experimental Researches* nos dice que, "parece evidente la existencia de una peculiar *independencia del magnetismo con respecto a la barra en que reside*"⁶

Había demostrado, que el simple movimiento dentro de un área de fuerza magnética constante era suficiente para que se produjera la inducción, en contradicción con su teoría anterior de que debía cambiar el estado electrotónico. Entonces señaló que la condición básica para la inducción residía en que el cable (disco conductor) cortara las líneas de fuerza, si una sección del cable se mueve a lo largo de una línea de fuerza, no se da el fenómeno. Se inspiró en la imagen gráfica del conocido efecto de curvas discretas que forman las limaduras de hierro esparcidas en torno a un imán para formular su concepto de líneas de fuerza, este fenómeno se convirtió en una ilustración gráfica de la transmisión efectiva de las acciones eléctricas y magnéticas.

Faraday creía que la inducción no era una acción a distancia, sino un nuevo tipo de acción, cuyo estudio brindaría una nueva concepción de las fuerzas eléctricas y magnéticas en la que la noción de líneas de fuerza resultaría esencial. Así, su especulación en torno a las líneas se convirtió en su principal guía heurística para llegar a su teoría de campo.

Consideraciones finales

Faraday había logrado transformar el magnetismo en electricidad y formularía una potente base teórica para explicar la interacción entre tales fuerzas. Sin embargo, se necesitaría del formalismo matemático de Maxwell para formular mediante qué leyes interactúan estas fuerzas. En su sistema la noción de campo se convierte en esencial para la descripción de las acciones eléctricas y magnéticas: a partir de sus ecuaciones se deduce el *tiempo de retraso* en la transmisión de la acción⁷, es decir, ciertos procesos físicos deben tener lugar en el espacio interviniente. Faraday sabía ya que esta era la prueba decisiva para legitimar su concepción y en contra de la noción de acción a distancia, pero no consiguió evidencias en su favor. Maxwell tomó la concepción de líneas de fuerza de Faraday y dándole una formulación matemática la convirtió finalmente en una real alternativa a la noción de acción a distancia.

En efecto, las dificultades que encontraría Faraday para hacer ciencia, tienen que ver con que intentaba contrastar un sistema demasiado universal, producto de la especulación, sin disponer del elemento articulador del cálculo⁸. El cálculo construyó el puente semántico entre la especulación y la experimentación. Por otra parte, dada su visión de mundo, Faraday no creía que las leyes de la mecánica newtoniana gobernarán la interacción entre los puntos de fuerza. Esta sea quizás la causa de la vaguedad de su sistema: no podía producir ninguna de las leyes generales que gobernaban los procesos básicos de interacción entre puntos de fuerza vecinos.

En este trabajo procuramos ilustrar mediante el análisis de su descubrimiento de la inducción electromagnética la tensión creadora de la relación especulación – experimentación en el trabajo de Faraday. Vimos cómo sus especulaciones le llevaron a considerar que era posible un nuevo tipo de acción y analizamos uno de los experimentos que realizó para probar su hipótesis. También comprobamos que se da el camino inverso, para explicar los resultados experimentales (experimento de inducción unipolar) elaboró la noción de líneas de fuerza. A su vez, ésta se convertiría en su principal guía heurística para su trabajo posterior y se consolidaría en la versión final de su teoría, al considerar el campo como un estado físico de tensión y relajamiento de las líneas concebidas como sustancias existentes en el mero espacio. Faraday tenía una gran capacidad especulativa y fue un brillante experimentador, con su teoría de campo brindó una nueva visión de mundo que se articularía por completo con el formalismo (el cálculo) de Maxwell. Al evaluar su trabajo, podemos decir que sus especulaciones estaban más allá de su trabajo experimental, sin embargo de no ser por su prematura insistencia en la transmisión continua de la acción, el concepto de campo hubiera tardado mucho más en aparecer en el horizonte de la física. Nuestro análisis constituye humildemente un ejemplo de que el trabajo científico tiene que ver con la cooperación de estos tres factores: especulación, experimentación y cálculo.

Notas

¹ Berkson (1974) p 24.

² I. Hacking (1983), p 242

³ El concepto de campo finalmente no resulta esencial en las descripciones de las acciones eléctricas y magnéticas, en el sentido de que Faraday no pudo probar que dichas acciones no fueran instantáneas. La descripción física del fenómeno puede darse aún en términos de acción a distancia.

⁴ Berkson (1974), p 92.

⁵ Faraday (1831) p 217

⁶ *Idem ant.* p 220.

⁷ Faraday sabía ya que esta era la prueba decisiva para legitimar su concepción y en contra de la noción de acción a distancia, pero no consiguió evidencias en su favor

⁸ Por cálculo no nos referimos a una mera computación, sino a la modificación matemática de una especulación, de tal manera que se armonice más con el mundo. Cf. Hacking (1983) p 243

Bibliografía

Berkson, William. (1974), Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein, Alianza, 1981

Faraday, M.: Experimental researches in electricity, 1831; Enciclopedia Británica, William Benton Publisher, 1970.

Hacking, Ian. (1983), Representar e Intervenir, Paidós 1996.

Harman, P.: (1982), Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX, Alianza Ed., 1990.

Nersessian, Nancy: (1984), Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories, Kluwer Academic Publishers, 1984.