La visión epistemológica en la primera fase de Eddington

Nury Isabel Jurado Herrera y Roberto de Andrade Martins

juradohe@ifi.unicamp.br, rmartins@ifi.unicamp.br

Grupo de Historia y Teoría de la Ciencia, Instituto de Física Gleb Wataghin,
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) fue uno de los más importantes astrónomos británicos del inicio del siglo XX, dedicándose tanto a investigaciones observacionales cuanto teóricas. Entre sus más importantes contribuciones podemos citar sus estudios observacionales pioneros sobre movimientos estelares en la galaxia; sus investigaciones sobre astrofísica teórica, analizando la constitución interna de las estrellas, obteniendo una relación entre masa y luminosidad y llevando a los primeros modelos estelares de estrellas estables y pulsantes que condujeron a previsiones confirmadas por las observaciones; divulgación y defensa de la teoría de la relatividad en Inglaterra y realización del famoso teste de la relatividad general midiendo la deflexión de la luz de las estrellas durante un eclipse solar (1919); desarrollo de un modelo cosmológico relativístico, conocido como “modelo de Lemaître-Eddington”; y varias otras contribuciones relevantes. Frecuentemente se considera que hasta 1930 las investigaciones de Eddington eran “normales”, aceptadas sin ninguna dificultad por la comunidad científica, pero que justamente en esa época el sufrió un cambio.

A partir de 1928, Eddington inició una nueva línea de investigaciones, intentando obtener por argumentos puramente teóricos las constantes fundamentales de la física, intentando explicar números adimensionales, como la constante de estructura fina y la razón entre la masa del electrón y la del protón, buscando además una asociación entre esas constantes y parámetros cosmológicos. Esos trabajos suscitaban inicialmente bastante interés, pero después la comunidad científica los rechazó. En el mismo período en que inició esa línea de trabajo, Eddington publicó su primer libro sobre filosofía de la física, *The nature of the physical world*. La visión epistemológica defendida por él procuraba justificar la posibilidad de poder obtenerse, *a priori*, muchos resultados científicos fundamentales.

Puede suponerse que toda la justificativa epistemológica que Eddington presentó para su trabajo es simplemente una filosofía *ad hoc*, una disculpa que él inventó después del desarrollo de sus trabajos “extraños”, sobre el cálculo, por métodos puramente teóricos de las constantes de la naturaleza, para intentar darle algún sentido. El propio McCrea, que fue su orientado, afirmó que el pensamiento filosófico de Eddington se habría desarrollado a partir de 1928, cuando él escribió *The nature of the physical world* (McCREA, 1991, p. 71). Si McCrea estuviera correcto, podríamos interpretar el cambio del pensamiento filosófico de Eddington como originándose a partir de su trabajo con las constantes adimensionales. Este trabajo mostrará, sin embargo, que esas ideas surgieron muchos años antes.

El hecho histórico curioso es que hay una continuidad entre la filosofía de la ciencia de Eddington en su fase “normal” y su filosofía de la ciencia en la fase “extraña”. Dentro de su exposición “ortodoxa” de la teoría de la relatividad general (*The mathematical theory of relativity*) Eddington ya había introducido aspectos importantes de su filosofía de la ciencia, como el principio de identificación (KILMISTER, *Eddington's search for a fundamental theory*, p. 59). Desde 1920 – mucho antes de intentar calcular teóricamente las constantes universales – Eddington ya defendía una epistemología idéntica a la de su segunda fase.

Cuando se lee con atención el propio libro *The mathematical theory of relativity*, percibe-se que allá ya están presentes esas concepciones, en medio de las discusiones técnicas sobre la teoría de la relatividad. No existen dos Eddingtons. Existe apenas un Eddington, en dos fases profesionales. En la primera, desarrolló trabajos que parecían correctos a sus contemporáneos y es en esta etapa durante la cual formuló su concepción sobre el método de la física teórica. En la segunda, aplicó las ideas que había desarrollado antes a un nuevo tipo de estudios, y su trabajo fue considerado un fracaso por la comunidad científica. No obstante, la concepción de ciencia, en los dos casos, es la misma.

La procura de una unificación de la física también estaba presente en trabajos antiguos de Eddington. Después del desarrollo de la teoría de la relatividad general, Hermann Weyl propuso una generalización de la teoría, utilizando una geometría un poco diferente (con un tensor de curvatura que no era más simétrico) e incluyendo en ese formalismo tanto la gravitación cuanto el electromagnetismo. Posteriormente el propio Eddington intentó generalizar aún más la teoría de Weyl, para resolver algunos de sus problemas, pero adoptando la idea de una teoría unificada de la gravitación y del electromagnetismo (KILMISTER, *Eddington's search for a fundamental theory*, p. 47).

Es esencial, por tanto, estudiar los trabajos más antiguos de Eddington (antes de su intento de calcular las grandezas adimensionales de la física) para verificar si hay de hecho una coherencia y continuidad en su pensamiento.

El contacto de Eddington con la teoría de la relatividad general comenzó en 1916, a través de De Sitter, que le envió una copia del trabajo de Einstein (eso ocurrió durante la guerra mundial, cuando la comunicación directa entre Alemania e Inglaterra estaba interrumpida). En 1918 Eddington escribió un reporte sobre la relatividad general para la *Physical Society* de Londres y en 1919 fue un de los principales organizadores de la expedición que verificó el desvío de la luz de las estrellas durante un eclipse solar. En el año de 1920 él escribió un libro de divulgación sobre la teoría de la relatividad, *Space, time and gravitation*. Al publicar la edición francesa de esa obra (en 1921), insirió un apéndice matemático que, después, fue expandido y se tornó la obra *The mathematical theory of relativity*, de 1923. Este libro fue la principal fuente a través de la cual los físicos de lengua inglesa aprendieron relatividad, en los años siguientes.

Durante el desarrollo de la mecánica cuántica, en la década de 1920, Eddington se mantuvo alejado. Aparentemente los métodos de esa nueva teoría no le atraían tanto cuanto la teoría de la relatividad. Se entusiasmó, sin embargo, con el trabajo de Dirac, que relacionaba la teoría de la relatividad a la mecánica cuántica.

Eddington no veía la teoría de la relatividad como una teoría acabada. Desde sus primeras publicaciones él procuró analizar la teoría de un modo diferente, adicionando sus propias contribuciones.

La filosofía de la ciencia de Eddington comenzó a ser desarrollada a partir de sus estudios sobre la teoría de la relatividad. Antes de eso, sus trabajos no mostraban ningún interés filosófico mas profundo (MERLEAU-PONTY, *Philosophie et théorie physique chez Eddington*, pp. 9-10). En 1920 él publicó dos artículos en la revista filosófica *Mind*. En sus libros sobre relatividad, a partir de entonces, aparece una preocupación filosófica muy clara, guiando su interpretación de la teoría y hasta mismo sus investigaciones más técnicas. En 1928 Eddington publicó su primer libro filosófico, *The nature of the physical world*. A partir de entonces, sus trabajos técnicos se intercalan con trabajos filosóficos, culminando con *The philosophy of physical science* (1938) que contiene la versión más acabada de su pensamiento. No obstante, la mayor parte de sus ideas filosóficas fundamentales ya estaba presente en sus trabajos anteriores.

Es posible encontrar la actitud apriorística peculiar de Eddington desde sus más antiguos escritos sobre filosofía de la ciencia. Vamos a analizar dos artículos que él publicó en 1920, sobre ‘El significado de la materia y las leyes de la naturaleza de acuerdo con la teoría de la relatividad’ (EDDINGTON, 1920a) y sobre ‘Los aspectos filosóficos de la teoría de la relatividad’ (EDDINGTON, 1920b).

Según Eddington, la ciencia utiliza tres tipos de entidades: (1) conceptos analíticos elementares, que no pueden ser definidos ni medidos; (2) relaciones, que no pueden ser definidas pero pueden ser medidas; (3) objetos de la experiencia, que pueden ser definidos. Las teorías de la física utilizan entidades que no pueden ser definidas, ‘Pero es deseable que en algún punto en la discusión consigamos saber sobre qué estamos hablando; y eso es conseguido cuando identificamos una de las complejas combinaciones de nuestros indefinibles con algún objeto de la experiencia reconocido por la mente’ (EDDINGTON, 1920a, p. 146).

El matemático mide esta cualidad del Mundo por un conjunto de coeficientes, indicados individualmente por g_{11} , g_{12} , etc., até g_{44} , y colectivamente por $g_{\mu\nu}$. Pero los $g_{\mu\nu}$, además de contener la medida de esta cualidad absoluta, contienen alguna otra cosa – el espacio y tiempo físico, que nosotros ahora creemos no ser cualidades intrínsecas del mundo. (EDDINGTON, 1920a, p. 149)

Puede utilizarse cualquier sistema de medida de espacio y tiempo, y hay una herramienta matemática que permite desarrollar ese estudio dejando las coordenadas completamente indefinidas.

Las entidades como $g_{\mu\nu}$ y $G_{\mu\nu}$ (llamadas de tensores) ocupan una posición intermediaria entre las cualidades intrínsecas del mundo y las cualidades que envuelven espacio y tiempo al acaso. El *desaparecimiento* de un tensor indica realmente una condición intrínseca completamente independiente del espacio y del tiempo, y la igualdad de dos tensores en la misma región es también una relación absoluta. Es por esa razón que $G_{\mu\nu}$ (el tensor más simple después de $g_{\mu\nu}$) atrae nuestra atención. (EDDINGTON, 1920a, p. 150)

Eddington indica, en seguida, que en el espacio vacío vale la relación

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G = 0$$

y comenta:

De forma diferente de la ley newtoniana, esa [ley] no presupone ningún modo particular de medir el espacio y el tiempo, y es especialmente por esta razón que ésta se recomienda para aquellos que poseen una tendencia a favor de la teoría de la relatividad. Ella expresa una relación entre propiedades intrínsecas de porciones adyacentes del Mundo, y no (como en la ley newtoniana) una relación entre esas propiedades y algún espacio y tiempo externos. (EDDINGTON, 1920a, p. 150)

En las regiones con materia, la ley de la gravitación toma la forma:

$$G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} G = -8\pi T_{\mu\nu}$$

Eddington indica que la interpretación *usual* de esas ecuaciones es que la materia perturba el continuo espacio-tiempo. Sin embargo, él propone una interpretación diferente, pues le parece incongruente introducir un objeto de la experiencia (materia) como un cuerpo extraño entre conceptos analíticos con los cuales la teoría estaba siendo construida. Eddington cree que en vez de forzar algo externo en las ecuaciones, se debe procurar *identificar* los términos que aparecen en ella.

No parece existir razón para postular que existe una entidad [materia] de naturaleza extraña que causa la diferencia de geometría; y si postulamos tal entidad será poco adecuado considerarla como materia física, porque no es la entidad extraña sino la diferencia de geometría que es el sujeto del experimento físico. (EDDINGTON, 1920b, p. 420)

Primeramente, Eddington va a reinterpretar la ecuación de la gravitación en el espacio vacío, afirmando que ‘La ley de Einstein de la gravitación no es una ley de la naturaleza y sí una definición – la definición de un vacío’ (EDDINGTON, 1920a, p. 151). ¿Qué significa eso, para él? Significa que cuando encontramos en una región del universo las propiedades descritas por $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G = 0$, esta región tiene cierta característica que puede ser identificada con algún aspecto de nuestra experiencia sensorial y él sugiere que tal región nos transmite la percepción sensorial de vacío. De modo semejante, cuando $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G$ no es igual a cero en una otra región, ella nos transmite otra impresión – y llamamos esa segunda situación de materia.

Esto nuevamente no es una ley inherente al mundo externo, mas meramente describe cómo la cualidad hasta aquí indefinible medida por el lado izquierdo de la ecuación es apreciada por la mente humana. La materia no causa una irregularidad en el campo gravitacional; la irregularidad del campo gravitacional es materia. (EDDINGTON, 1920a, p. 152)

Eddington identifica irregularidades de $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G$ con la materia, que es algo que podemos percibir con nuestros sentidos. ¿Pero qué relación puede haber entre $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G$ y nuestra mente? Si consideramos los $g_{\mu\nu}$ como siendo una propiedad del espacio y del tiempo, sería incomprensible cómo ellos pueden producir una sensación en la mente. La solución, para Eddington, es que el cerebro es constituido por $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G$ y que, por eso, los $g_{\mu\nu}$ pueden crear una impresión en la mente (EDDINGTON, 1920a, p. 152).

Para Eddington, no existe una materia que produce modificaciones en el espacio-tiempo, pues la materia es ese conjunto de modificaciones del espacio-tiempo. No existe también una mente capaz de percibir las modificaciones del espacio-tiempo externas a ella, pues la mente es un conjunto de modificaciones del espacio-tiempo. Así, la materia es de la misma naturaleza de la mente.

De acuerdo con esa visión no se puede decir que la materia existe sin la mente. La materia es apenas una entre millares de relaciones entre los constituyentes del mundo, y nuestra tarea será mostrar por qué una relación particular tiene un valor especial para la mente. (EDDINGTON, 1920a, p. 153)

Estudiando otras propiedades de los tensores formados a partir de los $g_{\mu\nu}$, Eddington procura hacer otras identificaciones. El tensor $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G$ obedece a la propiedad de *conservación* (pues, como sabemos, su divergente es nulo, lo que

representa matemáticamente la idea de una continuidad). Además de eso, la mente parece tener una cierta predilección por vivir en un universo más o menos permanente y procura en el mundo externo ciertos elementos que sean permanentes y que llama de materia. El tensor $G_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}G$ satisface exactamente ese deseo de permanencia y puede por eso ser escogido para representar la materia. Sin embargo, esos resultados no son “leyes de la naturaleza”. Las propiedades de los $g_{\mu\nu}$ serán las mismas en un universo imaginario, independientemente de elegir representar el espacio-tiempo o las relaciones humanas por el tensor $g_{\mu\nu}$ (EDDINGTON, 1920a, pp. 153-154).

La intervención de la mente en las leyes de la naturaleza tiene, creo, un alcance mayor de lo que los físicos usualmente suponen. Estoy casi inclinado a atribuir toda la responsabilidad por las leyes de la mecánica y de la gravitación a la mente, y negar al mundo externo cualquier participación en ellas. Probablemente será objetado que eso está yendo muy lejos; sin duda, las leyes dependen de la elección que la mente hace del material para su universo, pero, ¿será que la naturaleza merece algún crédito por ofrecer material con propiedades tan convenientes? Dudo de eso. Tanto cuanto puedo ver, la naturaleza solo necesitó ofrecernos un agregado tetra-dimensional de eventos puntuales; y como estos y sus relaciones en él pueden ser definidos, y pueden ser de cualquier carácter, sería posible en cualquier caso escoger un conjunto de entidades que sirvieran como eventos puntuales, por peor que la naturaleza hubiera manejado las cosas en el mundo externo. Apenas la mente es responsable por el uso que hace de los eventos puntuales. (EDDINGTON, 1920a, p. 155)

Eddington hace una comparación interesante, que ayuda a comprender lo que él quiere decir. Cuando se mira para el cielo estrellado, la mente procura estructuras como triángulos, alineamientos y hasta mismo figuras fantásticas formadas por las estrellas. Es la mente que proyecta esas figuras sobre las estrellas, que están dispuestas al acaso. De la misma forma, nuestra mente proyecta sobre el mundo físico la idea de sustancia, de algo permanente, y procura encontrar algo que corresponda a esa idea (EDDINGTON, 1920b, p. 420). Así, muchas de las “leyes de la física” serían apenas imposiciones de la mente a la descripción del mundo, pero no leyes que gobiernan los acontecimientos en el mundo objetivo.

Más adelante, en su artículo, Eddington indica que la teoría de Hermann Weyl extiende la teoría de la relatividad para incluir también las fuerzas electromagnéticas dentro del espacio-tiempo, y comenta:

Si aceptamos esta extensión de la teoría, parece a primera vista que todo lo que llamamos de leyes de la naturaleza son meras identificaciones – que la mente escoge reconocer aquellas cualidades que, por causa de identidad matemática, deben obedecer necesariamente las leyes que ella [la mente] impone despóticamente. Las leyes de la mecánica, de la electrodinámica y de la gravitación cubren casi todo el campo de la física; y sin embargo vimos que ninguna de ellas impone cualquier restricción en el libre arreglo del Mundo externo. ¿No hay entonces ninguna ley genuina del mundo externo? ¿Será el universo construido apenas de elementos que son puramente caóticos? (EDDINGTON, 1920a, p. 156)

Si todos los descubrimientos de la física estuvieran asociados a leyes de ese tipo, seremos forzados a admitir que la física nada tiene a contribuir con la grande inquietud de cómo el mundo fuera de nosotros es gobernado. Aún no estoy

preparado para admitir eso. Pienso que encontramos algunas leyes genuinas que gobiernan el mundo externo, pero especialmente en la física moderna, y estamos intentando – tal vez con poco suceso – tratarlas. Pero las grandes leyes exactas de la gravitación, de la mecánica y del electromagnetismo, por las cuales la física consiguió su alta reputación como una ciencia exacta, todas ellas pertenecen a otra categoría. (EDDINGTON, 1920b, p. 421)

Eddington reconoce, en esa época, que había leyes que no podían ser incluidas en esa interpretación. La teoría de la relatividad no introducía ninguna atomicidad en la materia, pero la materia, la carga eléctrica y la energía parecían tener una atomicidad. Eddington conjetura que talvez existan leyes de la naturaleza (como esas) que no serian impuestas por la mente. Sin embargo, las leyes generales de la atomicidad y de la cuantización aún no habían sido descubiertas (EDDINGTON, 1920a, pp. 156-158).

En 1920, Eddington estaba construyendo una filosofía de la ciencia basada en una interpretación muy personal de la teoría de la relatividad general. Al mismo tiempo, él estaba trabajando en el desarrollo de una ampliación de esa teoría. Así como Weyl había extendido la teoría de Einstein para incluir el electromagnetismo, Eddington tenía la esperanza de conseguir ampliar la teoría de Weyl para abarcar, además de la gravitación y del electromagnetismo, las fuerzas que controlan las propias partículas de la materia.

Yendo mas allá de la geometría euclidiana, aparece la gravitación; yendo mas allá de la geometría riemanniana, aparecen las fuerzas electromagnéticas; ¿Qué falta para ser conseguido por una generalización posterior? Evidentemente, las fuerzas de ligación no-maxwellianas que conservan un electrón unido. Empero el problema del electrón debe ser difícil, y no puedo decir si la presente generalización es bien sucedida en proporcionar los materiales para su solución. (EDDINGTON, 1921, p. 104)

Si eso fuera conseguido, esa teoría unificada quizás pudiera explicar las propiedades atómicas de la materia y toda la física pasaría a tener un único tipo de fundamentación. Para intentar construir ese tipo de teoría, en 1921, Eddington utilizó exactamente el tipo de concepción filosófica que describió en los artículos de 1920. A pesar de que el artículo de 1921 era esencialmente técnico, en él aparece un párrafo que muestra esa conexión:

Un estudio deductivo de la geometría del universo y un estudio inductivo de la ciencia observacional atacan el problema de la naturaleza de extremos opuestos. Los conceptos más elementales del conocimiento experimental pueden no aparecer hasta un estado tardío del tratamiento deductivo. Nuestro trabajo sigue por tanto dos etapas: primero, el desarrollo de una geometría pura de un tipo muy general; segundo, una teoría física basada en la identificación de funciones geométricas con cantidades obtenidas por medida experimental. (EDDINGTON, 1921, p. 105)

Bajo el punto de vista geométrico, la teoría de Weyl se diferencia de la relatividad general por admitir que comparaciones de longitud en dos puntos diferentes del espacio-tiempo pueden dar resultados diferentes, conforme el camino utilizado para hacer esa comparación. Es necesario por tanto introducir una unidad de longitud en cada punto del espacio-tiempo. Ese sistema de unidades-patrón es llamado de “sistema de escala” o “sistema de calibración” (*gauge system*). La teoría de Weyl supone que el sistema de calibración es tan arbitrario cuanto el sistema de coordenadas; sin embargo, aparece la

necesidad de introducir un tipo especial de sistema de calibración llamado ‘natural’ para permitir comparaciones entre objetos distantes – pues, al final de cuentas, suponemos que tiene sentido comparar el tamaño del Sol con el de la Tierra. Eddington se preocupó en analizar mejor el significado de ese sistema de escala natural (EDDINGTON, 1921, p. 105) y, a partir de ahí, propuso una generalización de la teoría de Weyl, con menos restricciones matemáticas.

Podrían ser indicados otros ejemplos, pero estos deben ser suficientes para mostrar que, mucho antes de 1928 (cuando publica su primer libro de filosofía de la ciencia y su primer artículo sobre el cálculo de las constantes adimensionales), Eddington ya había formulado y aplicado su método epistemológico.

Así, puede verse que la epistemología de Eddington no es una tentativa de justificar sus trabajos no-ortodoxos sobre el cálculo de las constantes de la naturaleza. Sus ideas sobre la naturaleza del método científico ya habían surgido muchos años antes, como resultado de sus estudios sobre la teoría de la relatividad, y él ya había aplicado ese método en otros trabajos (como su propuesta de una alternativa a la teoría de Weyl, o su interpretación de la constante cosmológica como un patrón de medidas). La propia exposición que Eddington hacía de la ley de la gravitación de Einstein en la presencia de materia como consistiendo en una mera *identificación* de grandezas abstractas con objetos de la experiencia, seguía ese método. Podemos, así, aceptar la afirmación que Eddington hizo en 1939: ‘Ni los avances científicos de la última década ni estos años de reflexión alteraran la tendencia general de mi filosofía’ (EDDINGTON, *The philosophy of physical science*, p. viii).

Hubo, por tanto, una grande continuidad y coherencia en el trabajo de Eddington. Inicialmente, sus contemporáneos aparentemente no percibieran cuán radicales eran sus ideas, porque él parecía estar apenas describiendo los resultados aceptados, de la teoría de la relatividad.

Kilmister, por ejemplo, comentó que, cuando joven, estudió el libro *The mathematical theory of relativity* sin percibir que tal obra contenía muchas ideas filosóficas poco ortodoxas. Sin embargo, la obra que Eddington publicó en 1936 – *Relativity theory of protons and electrons* – llamó la atención claramente para la posición impar de Eddington, en relación a su metodología (KILMISTER, *Eddington's search for a fundamental theory*, p. ix).

Puede decirse que los contemporáneos de Eddington solamente notaron el carácter revolucionario de su método cuando él comenzó a aplicarlo al cálculo de las constantes de la naturaleza. La reacción negativa, en esa época, debe haber sido inesperada para Eddington, que no estaba haciendo (en su opinión) nada de extraño. Él estaba apenas aplicando aquello que había aprendido con el desarrollo de la teoría de la relatividad (y, después, de la mecánica cuántica).

Bibliografía

EDDINGTON, Arthur Stanley. The meaning of matter and the laws of nature according to the theory of relativity. *Mind*, **29**: 145-158, 1920. (a)

EDDINGTON, Arthur Stanley. Philosophical aspects of the theory of relativity. *Mind*, **29**: 415-422, 1920. (b)

- EDDINGTON, Arthur Stanley. la generalisation of Weyl's theory of the electromagnetic and gravitatioen lal fields. *Proceedings of the Royal Society of London la* **99**: 104-122, 1921.
- EDDINGTON, Arthur Stanley. *The mathematical theory of relativity*. Cambridge: The University Press, 1923.
- EDDINGTON, Arthur Stanley. *The en lature of the physical world*. New York: Macmillan; Cambridge: The Cambridge University Press, 1928.
- EDDINGTON, Arthur Stanley. *The philosophy of physical science*. Cambridge: The University Press, 1939.
- KILMISTER, C. W. *Eddington's search for la fundamental theory: la key to the universe*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994.
- MCCREA, William. Arthur Stanley Eddington. *Scientific American*, **264** (6): 92-97, 1991.
- MERLEAU-PONTY, Jacques. *Philosophie et théorie physique chez Eddington*. Paris : Les Belles Lettres, 1965. (Anen lales Littéraires de l'Université de Besançon, 75)