

## La representación de lo contingente en las explicaciones científicas

SERGIO F. MARTÍNEZ\*

### Introducción

La motivación más importante para el desarrollo de una teoría de la explicación como parte medular de una filosofía de la ciencia es la idea de que el conocimiento científico se articula principalmente en explicaciones y que la ciencia es conocimiento por excelencia. El hecho de que las opiniones y modelos filosóficos de la explicación propongan caracterizaciones tan diferentes del concepto sugiere que detrás de las divergencias sobre qué es explicar hay cuestiones filosóficas de fondo. Newton-Smith llega a comparar esta falta de acuerdo básico al problema que según Kant le planteaba a la filosofía el escepticismo en el siglo XVIII<sup>1</sup>. Esta comparación no me parece exagerada. En el fondo está en discusión la cuestión sobre qué es conocimiento y en particular el problema de qué entendemos por avance (o progreso) cognitivo.

Desde la perspectiva tradicional el progreso cognitivo se representa como la acumulación de hechos establecidos (o verdades) independientes. El conocimiento se entiende como un logro permanente que no depende del entorno normativo en el cual se genera. Es más, se asume que podemos partir de la reflexión sobre verdades como “2 más 2 es igual a 4”, o “el perro está sobre la alfombra”, y generalizaciones como “todos los cuervos son negros” para desarrollar a partir de ellos una teoría del conocimiento. Pero si pensamos en la ciencia como paradigma de logro cognitivo entonces esta estrategia es muy cuestionable. Las proposiciones que usualmente se dan como ejemplos de generalizaciones con poder explicativo en la ciencia, la ley de Galileo, la ley de Boyle, o la ley de Mendel, no son estrictamente hablando conocimiento en el sentido tradicional. Todas esas leyes son falsas. Ninguna de ellas es estrictamente verdadera. Sólo son verdaderas bajo ciertas condiciones que no son explícitamente (ni pueden serlo) parte de la ley. Esto por supuesto obliga a la concepción tradicional a modificaciones importantes acerca de cómo entender la epistemología, modificaciones

\* Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México.

que son parte importante de la historia de la filosofía de la ciencia y la epistemología. Hay, sin embargo, una clara tensión entre aquellos que piensan que la epistemología puede hacerse a partir de alguna versión de la concepción tradicional de conocimiento, y que en particular consideran que el conocimiento es esencialmente conocimiento proposicional, articulado en teorías, y aquellos que piensan que la epistemología no puede reducirse a un estudio del conocimiento de creencias y teorías.

Los conceptos de saber y entendimiento han sido usados como punto de apoyo para el desarrollo de una epistemología diferente. Ambos términos apuntan a una concepción más plural de lo que se entiende por recurso y logro cognitivo, y de cómo esos recursos y logros cognitivos forman parte de nuestra experiencia. Ambos términos se usan para referirse a logros cognitivos que no se restringen a hechos. En este trabajo me interesa hacer ver como el problema de la explicación puede plantearse desde la perspectiva de una epistemología que tome en serio la importancia del entendimiento como logro cognitivo. Esto requiere ampliar aquello que consideramos un recurso cognitivo, y en particular el tipo de representaciones que entran en una explicación. En particular, quiero hacer ver el papel que juegan representaciones de lo contingente, que no son leyes de una teoría específica, en la formulación de explicaciones en la ciencia. Esto va a requerir mostrar la importancia que juega el entendimiento como un logro que integra esas diferentes representaciones como parte de lo que entendemos por avance de la ciencia. Por entendimiento científico voy a entender aquí el tipo de entendimiento que surge de las explicaciones científicas. Esto no agota la importancia del tema del entendimiento para la filosofía de la ciencia, pero en este trabajo voy a restringirme a elaborar lo que considero un aspecto muy importante de la relación entre entendimiento científico y avance de la ciencia. Voy a dejar de lado muchos otros aspectos e implicaciones de la discusión en cuestión para una discusión más amplia de lo que se entiende por entendimiento. Pero es necesario empezar por decir algo sobre lo que entiendo por entendimiento en general.

Entendemos palabras, razones, acciones, pasiones, fines, etc. Además entendemos técnicas, diagramas, patrones, figuras, mapas, tendencias y normas, entre muchas otras cosas. El entendimiento de un tema generalmente se engloba en una práctica. Una terminología, la interpretación de una sonata de Beethoven, un gesto o el funcionamiento de un aparato pueden o no ser entendidos correctamente, dependiendo de si somos capaces de situarlos respecto a las normas (usualmente implícitas) propias de las prácticas de las que forman parte. Es pues claro que entendimiento es un tipo de logro cognitivo más amplio que lo que usualmente se entiende por conocimiento. Aquellos que piensan que la epistemología no puede hacerse en el marco tradicional arguyen que por ejemplo no podemos identificar el logro cognitivo asociado con un conocimiento a fondo de una disciplina científica con el mero conocimiento de verdades sobre el mundo<sup>2</sup>.

En la medida que entender la (o saber de) física involucra saber sobre muchos tipos de normas, compromisos, estándares y valores, respecto a los cuales las verdades sobre el

mundo físico adquieren valor cognitivo, el conocimiento científico, que por lo general se articula en explicaciones, va más allá de la concepción tradicional. Entender algo claramente sugiere tener la capacidad de situarlo respecto a hechos, valores y normas. Uno entiende cómo funciona un aparato de acuerdo a ciertas normas que son diferentes en distintas prácticas. Para un físico entender un método de integración es diferente que para un matemático. Para un paleontólogo entender la función de un órgano es diferente de lo que es para un médico o para un fisiólogo entender su función. ¿Qué es una especie o una enfermedad?, es algo que se entiende diferente en el contexto de la ética ambiental y en la biología evolucionista. Entender es algo que tiene lugar en el contexto de prácticas, disciplinas o instituciones. Estos diferentes tipos de entendimiento generalmente se articulan en la forma de diferentes tipos de explicaciones. Pero las explicaciones en competencia no tienen que verse como alternativas excluyentes. Muy por el contrario, muchas veces esa diversidad de explicaciones nos ayuda a entender algo respecto al tipo de proceso en cuestión que no entenderíamos si las tomamos como excluyentes<sup>3</sup>. Una de las discusiones más acaloradas en la filosofía de la biología y las ciencias sociales hoy día es respecto a la relación que hay entre dos tipos de explicaciones funcionales, explicaciones de funciones en el contexto de sistemas naturales y en el contexto de artefactos humanos. No es difícil estar de acuerdo en que no podemos aceptar una explicación de un proceso natural basada en la atribución de intenciones, pero de aquí no se sigue que no haya una relación filosóficamente interesante entre estos dos tipos de explicaciones funcionales. Si partimos del supuesto que la tarea sólo puede consistir en distinguir estos dos tipos de explicación podemos estar perdiendo algo importante respecto a la manera como se relacionan, o pueden relacionarse a través de su integración en la explicación de algunos tipos de procesos (como creo es el caso en las ciencias cognitivas). Una alternativa es negar que las explicaciones teleológicas tengan un uso legítimo en la Biología. Pero de una u otra manera hay que dar cuenta del tipo de distinciones para las que ese tipo de explicaciones se utilizan, en particular, para hacer una distinción entre lo que es una función propia y lo que no<sup>4</sup>. La distinción obvia, en el caso del corazón, entre la función de hacer un ruido característico y la función de bombear sangre de una u otra manera tiene que elucidarse filosóficamente. Otra alternativa es tratar de dar cuenta de las explicaciones teleológicas a partir del mecanismo de selección natural. Ambas alternativas (usualmente) promueven una agenda exclusionista. Se asume que las explicaciones funcionales tienen que tener una base clara en una visión mecanicista-reduccionista del mundo o no pueden formar parte de nuestros recursos explicativos. Hay otra alternativa. Que las explicaciones funcionales puedan sustentarse en maneras más “locales” (en el sentido de relativas a un contexto) de introducir una distinción entre lo que es la función propia y lo que no. Por ejemplo, hay propuestas que promueven que la distinción se base en una cierta noción de lo que es una especie típica. O bien se puede caracterizar un tipo muy amplio de explicaciones

funcionales que surgen en varias disciplinas como representaciones de normas de diseño que permitan dar cuenta de una gran cantidad de explicaciones funcionales que tienen lugar en las Ciencias Sociales y la Biología<sup>5</sup>.

### La integración como contrastación de explicaciones

Un ejemplo de la Física. A la pregunta de por qué el periodo  $T$  de un péndulo es directamente proporcional a  $\sqrt{L}$ , donde  $L$  es el largo del hilo del que se sostiene, hay diferentes respuestas. Un estudiante de primer año puede dar una explicación de la que puede estar orgulloso. Plantea la ecuación diferencial de un péndulo idealizado (i.e. un modelo que no toma en cuenta fricción, cambios en dimensiones debidas a la temperatura, etc.) y resuelve la ecuación. La solución muestra que  $T$  es proporcional  $\sqrt{L}$ . La respuesta puede lograrse de otra manera más “elegante”. La respuesta puede obtenerse a partir de un análisis dimensional<sup>6</sup>. Se parte del supuesto que hay estándares de las diferentes cantidades, masa, aceleración, largo, etc., caracterizados por ciertas dimensiones. Puesto que las unidades que se escojan son arbitrarias, la descripción correcta de un proceso físico no puede depender de las unidades escogidas. A partir de este simple principio es relativamente fácil llegar a la conclusión que el periodo  $T$  de un péndulo dividido por  $\sqrt{L/g}$  (donde  $g$  es el valor de la aceleración de la gravedad) es una constante. De lo que se deduce la respuesta.

Lo más interesante para nosotros es que la explicación del resultado que nos interesaba se obtuvo a partir de un análisis de propiedades cualitativas de las cantidades involucradas. No tuvo que resolverse una ecuación de movimiento, ni tuvieron que considerarse detalles de la composición material del péndulo. Esta es una mejor explicación porque no sólo explica la proporcionalidad, sino que también explica por qué los detalles de la estructura material del péndulo no son pertinentes. La primera explicación utiliza el supuesto de que hay ciertas leyes del movimiento que hemos logrado abstraer de la experiencia, pero ¿de dónde sacamos el conocimiento de que el material de que está hecho el péndulo, o su color no son relevantes para la solución del problema? Podemos decir que la observación y análisis del comportamiento de muchos péndulos de materiales y características muy diferentes nos lleva a la conclusión que esos detalles son irrelevantes para determinar el periodo. ¿Pero por qué esto no sería una mera inducción sujeta a ser cuestionada por la experiencia la próxima vez que analicemos el comportamiento de un péndulo? ¿Por qué podemos estar seguros que cambios en la temperatura, el color o el tipo de material (dentro de cierto rango) no alterarían el resultado? Podemos recurrir a presupuestos metafísicos o epistemológicos (supuestos acerca de clases naturales, por ejemplo) para hacer confiable nuestra inducción, pero en todo caso sería claro que hay una diferencia entre las dos explicaciones, en tanto que en la segunda explicación no requerimos esos supuestos (o están implícitos en la estructura de la explicación). Otra diferencia surge cuando reflexionamos sobre el

papel de las leyes del movimiento en la explicación. En el primer tipo de explicación las leyes del movimiento (representados en la ecuación del péndulo) podrían tener que modificarse en el futuro. Podría ser que eventualmente lleguemos a la conclusión de que el movimiento del péndulo depende de diferentes tipos de ecuaciones dependiendo del tipo de material de que se trate. En este caso tendríamos que distinguir entre diferentes modelos. En unos casos ciertos factores se considerarían irrelevantes, y en otros casos otros. En la segunda explicación no tenemos por qué preocuparnos por esa posibilidad. Nuestro conocimiento del comportamiento de un péndulo no es una mera inducción de la experiencia a partir de observar comportamientos de péndulos, o a partir de postular una generalización sobre el comportamiento de un objeto pesado suspendido de un hilo en el espacio-tiempo. Si así lo fuera la segunda explicación no podría estar bien.

Algo interesante para nosotros va a ser reflexionar acerca de la manera como representaciones de aspectos contingentes del mundo juegan un papel en este segundo tipo de explicación. En primer lugar, puesto que la explicación no procede a partir de leyes no tenemos derecho a decir que las leyes son indispensables para explicar. Este tipo de tesis en todo caso tiene que calificarse. En segundo lugar, el *explanandum* es un resultado que se sigue de un análisis del *tipo de magnitudes* que caracterizan las diferentes componentes del péndulo (peso, largo, aceleración, etc.). La conclusión se sigue del supuesto que las diferentes cantidades que caracterizan un péndulo son de cierto tipo, se caracterizan por *determinados estándares dimensionales*, que guardan una cierta relación entre sí independientemente de qué unidades querramos usar para describir esos estándares.

En la segunda explicación el *explanandum* no es una inferencia a partir de una ley, bajo ciertas condiciones iniciales. La explicación es resultado de hacer una serie de inferencias a partir del supuesto que el resultado debe de ser invariante respecto a las unidades de medición utilizadas, y bajo el supuesto que podemos determinar (en algún sistema de unidades) las unidades de medición apropiadas a las cantidades que entran en la caracterización del problema (largo, aceleración, periodo). Las dos explicaciones son buenas explicaciones de un mismo suceso, pero la segunda explicación es mejor que la primera en tanto que nos permite entender mejor qué es un péndulo, *como un tipo de sistema físico*.

No obstante, el mayor entendimiento de lo que es un péndulo al que nos lleva la segunda explicación no se logra con independencia del primer tipo de explicación. El entendimiento no es un valor que podamos distribuir claramente (y por lo tanto que podamos pensar en “sumar”). El mayor entendimiento que estamos asociando con la segunda explicación es un mayor entendimiento que requiere una comparación con la primera explicación. El hecho que podamos llegar a una conclusión por dos caminos diferentes dice algo más que lo que cada una de las explicaciones dicen por separado. Como veremos, las explicaciones generan entendimiento muchas veces con cierta independencia de otras explicaciones, pero es la integración de explicaciones la que usualmente genera el tipo de entendimiento que asociamos con el avance de la ciencia.

Lo dicho no pretende implicar que no haya explicaciones de un mismo fenómeno que son mejores que otras. Pero *el sentido en el que una explicación en particular es mejor que otra depende de tomar un cierto valor como preeminente, no implica que una explicación excluya a la otra*. La explicación que proviene de la solución de la ecuación de movimiento del péndulo, de por qué el periodo  $T$  es proporcional a  $\sqrt{L/g}$ , es mejor si estamos interesados en hacer ver cómo un mismo tipo de ecuación puede describir un proceso bajo diferentes tipos de idealizaciones. Si el ángulo de oscilación es relativamente grande, o si  $L$  varía por elasticidad del hilo, o si la aceleración de la gravedad varía, tienen que introducirse otros factores en la ecuación que complican la solución, y que por lo general ya no permiten que se obtenga una solución analítica. *Pero esto es importante para entender en términos físicos las limitaciones del tipo de solución asociados con una ecuación lineal*. Si queremos entender por qué tiene lugar la proporcionalidad entre el periodo y  $\sqrt{L}$  en el caso de un péndulo simple, entonces es mejor la segunda explicación.

Lo que más me interesa recalcar, sin embargo, es que la contrastación de las dos explicaciones genera entendimiento que va más allá de lo que podemos entender de las explicaciones por separado<sup>7</sup>. Es porque tenemos acceso a la segunda explicación que sabemos que la proporcionalidad entre el periodo y  $\sqrt{L}$  no requiere de una derivación a partir de leyes. Hemos visto *pues que hay explicaciones que, si bien están en competencia, no se excluyen, más bien se integran a través de la generación de un mejor entendimiento de un fenómeno o proceso*<sup>8</sup>. La integración puede también producirse no a través de la contrastación de diferentes explicaciones sino a través de la búsqueda por una representación general del tipo de normas que sustentan diferentes tipos de explicaciones<sup>9</sup>.

El entendimiento es el resultado de integrar valores, diferentes maneras de representar, interpretar e intervenir en el mundo. En este trabajo voy a dejar de lado la consideración explícita del tipo de integración que surge de procesos de intervención a través del desarrollo de tecnología, por ejemplo, con lo que no quiero implicar que este tipo de integración no sea importante<sup>10</sup>. Algo al respecto va a surgir en la última sección cuando se muestre que el papel de la intervención en la integración de valores, en la medida que las explicaciones incorporan representaciones de aspectos contingentes del mundo, la mera acumulación de explicaciones teóricas pierde importancia como criterio epistemológico del avance de la ciencia. El avance de la ciencia, en buena medida, se encuentra plasmado en representaciones novedosas de lo contingente, representaciones que pueden ser utilizadas para la promoción de nuestros valores, el conocimiento de la estructura causal del mundo entre ellos.

Hay una creencia muy extendida de que las leyes y la contingencia se excluyen. Pero esto sólo es así si las leyes son necesarias. Lo contingente es lo que puede o pudo ser de otra manera, lo que no sucede por necesidad. Si no asumimos que todas las leyes son necesarias entonces es claro que algunas leyes por lo menos son generalizaciones contingentes. A continuación presento un caso histórico que ejemplifica cómo el problema de qué es explicar a partir de leyes está relacionado por un lado con el problema

de cómo entendemos el avance de la ciencia y por otro lado con el problema de cómo representamos lo contingente en nuestras explicaciones.

### **Whewell y Boutroux: leyes, contingencia y progreso**

En la segunda mitad del siglo XIX había una amplia discusión acerca de la manera como las explicaciones de procesos naturales podían entenderse sin requerir, directa o indirectamente, el supuesto de un diseñador inteligente. Los positivistas pensaban que el poder explicativo de las explicaciones científicas podía sustentarse en un cierto criterio de progreso que estaba implícito en la historia de la ciencia, un criterio de acuerdo al cual la ciencia “crecía constantemente, pero nunca cambiaba” (John Stuart Mill, 1831<sup>11</sup>). O como lo formulaba Lyon Playfair, en su conferencia presidencial a la asociación británica para el avance de la ciencia en 1885:

Una verdad establecida es como la constitución de un átomo material, algo tan fijo en el orden de las cosas que ha llegado a ser independiente de peligros futuros en la lucha por la existencia. La suma de tales verdades forma el tesoro intelectual que pasa a cada generación en sucesión hereditaria<sup>12</sup>.

El desarrollo histórico de la ciencia a través del siglo XIX terminó minando la confianza en esa concepción del progreso. La aceptación generalizada de la teoría ondulatoria de la luz, a partir de los experimentos de Fresnel en la segunda década del siglo, el desarrollo posterior de las teorías de campo y la teoría del electromagnetismo, así como la publicación en 1870 del trabajo de Helmholtz “Sobre los orígenes y el significado de los axiomas de la geometría”, hacen que la concepción positivista del progreso, y por lo tanto la idea de que la ciencia sólo tiene que ver con el descubrimiento de leyes y hechos que “están allí para quedarse” se vuelven cada vez más difícil de mantener. La revisión de la teoría newtoniana de la luz fue particularmente importante por el papel central que la óptica jugaba en la tradición newtoniana<sup>13</sup>. Herschel, en *El Discurso* (1830), trata de interpretar en lenguaje cuidadoso las implicaciones que la aceptación de la teoría ondulatoria de la luz tiene para una historiografía positivista<sup>14</sup>. Considera que la opinión de Fresnel de que sus experimentos son decisivos en favor de la teoría ondulatoria de la luz son un poco apresurados, puesto que incluso Newton llegó a opiniones falsas en relación con cuestiones tales como la velocidad del sonido. La lección que Herschel quiere extraer es clara: no es posible extraer verdades de experimentos aislados; es necesario hacer una distinción entre dos tipos de causas. Aquellas que podemos reconocer como la de tener una “existencia real”, y aquellas hipótesis como la que defiende Fresnel. La distinción entre “leyes físicas derivadas de experimentos que no pueden ser modificadas o cambiadas en el futuro” de meras “hipótesis” requiere formular las leyes en un lenguaje que no incluye ningún término teórico (1830 [1987], p. 254). Esta distinción entre leyes experimentales y leyes teóricas le permite a Herschel mantener la idea de progreso positivista, como “la acumulación de verdades

que ninguna investigación posterior puede llegar a modificar”, y a la vez reconocer los posibles cambios en las explicaciones de la física<sup>15</sup>.

En el siglo XIX muchas alternativas a la concepción positivista del progreso científico tenían su origen en la creencia en una ley universal de una evolución progresiva, que sustentaría el progreso de la ciencia como un caso particular de otros tipos de progreso. Así, Spencer y Haeckel van a tratar de caracterizar las explicaciones científicas como ejemplos de procesos evolucionistas guiados por una ley universal del progreso. Se pensaba que esta misma ley podía explicar el desarrollo de la vida sobre el planeta, el desarrollo social, e incluso cuestiones tan particulares como el desarrollo de la música coral. Esto requiere asumir una noción de ley que supuestamente describe un proceso dirigido a un fin que no parece tener una explicación naturalista. Las teorías de Spencer y Haeckel son bastante conocidas y la apelación a teleología es obvia. Pero no todos los autores del siglo XIX se basaron en ese tipo de teleología obvia para desarrollar una alternativa a la concepción de progreso científico promovida por Herschel. William Whewell fue sin lugar a dudas uno de los críticos más agudos de la visión positivista de la ciencia durante el siglo XIX. El argumento central de Whewell en contra de la concepción herschelliana del progreso partía del análisis de un tipo de modelos recién descubiertos que permitían la construcción de explicaciones de procesos físicos que hasta entonces habían desafiado una descripción satisfactoria. Estos modelos partían de un análisis genético del estado del sistema, y la identificación de las fuerzas que dirigían un cierto proceso a un cierto fin<sup>16</sup>. Para Whewell, el rasgo importante de este tipo de modelos era que las variaciones producidas por las causas perturbadoras no tenían por qué llevar al sistema más cerca del estado de equilibrio (algo que los modelos más simplistas utilizados hasta entonces, en particular por los newtonianos franceses, asumían que era el caso). De aquí Whewell derivaba una lección en teología natural (siguiendo una sugerencia clara de Newton al respecto). *A menos que Dios interviniera en el proceso las diferentes tendencias al equilibrio harían que el sistema colapsara. Las leyes de la naturaleza por sí solas no serían capaces de explicar la compleja dinámica del mundo.* Así, aún cuando fuera posible hacer la distinción entre leyes experimentales y teóricas sugerida por Herschel, la explicación positivista de la ciencia no podría dar cuenta del orden del mundo, en la medida que hay un cierto orden o estructura del mundo que no lo capturan las leyes de la naturaleza (que se asumía estaban por lo menos implícitas en las leyes de Newton).

En *On Astronomy and general physics considered with reference to natural theology*, Whewell dejó muy clara la idea que una explicación del orden cósmico sólo podía entenderse si se aceptaba que habían intervenciones calculadas para tener un cierto efecto<sup>17</sup>. Whewell arguye que la presencia constante de fricción y disipación de la energía nos obliga a reconocer la presencia de una “primera causa que no es mecánica”. Dado que la disipación es un fenómeno tan extendido que no era posible explicar en término de las leyes deterministas de la física, el origen de la estructura que esas leyes describen



requería de una explicación no natural. De esta manera la filosofía natural se veía en la necesidad de complementarse con la teología natural.

Nótese que Whewell asume que no puede haber otro tipo de explicación naturalista que permita explicar el origen del orden asociado con fenómenos. Whewell asume que confrontamos una dicotomía, o bien hay explicaciones por leyes (deterministas y universales) que representen el orden del mundo, o bien hay un lugar para el tipo de supuestos teleológicos promovidos por la teología natural. La única otra opción para alguien como Whewell sería que la casualidad podría haber generado el orden inicial, pero esto era intelectualmente repugnante y contra la idea misma de conocimiento<sup>18</sup>. Es claro pues que la discusión acerca del positivismo en el siglo XIX tiene mucho que ver con una discusión respecto al alcance de las explicaciones por leyes, y por lo tanto con la discusión respecto al tipo de entendimiento que nos da la ciencia. Por supuesto que una alternativa es pensar que las leyes no tienen que ser universales y necesarias. Podría ser que las leyes fueran contingentes en el sentido que podrían ser sólo aplicables en un cierto contexto disciplinario. Esto nos obligaría a dar una explicación de cómo es que las leyes coinciden con las disciplinas, y cómo es que esos diferentes grupos de leyes se relacionan unos con otros de la manera coherente en que lo hacen.

Emile Boutroux, en su tesis de doctorado de 1874 dio una formulación explícita de la idea que las explicaciones científicas están basadas en leyes contingentes como parte de una crítica al positivismo<sup>19</sup>. Boutroux defiende la tesis que la realidad consiste de una jerarquía de estructuras caracterizadas cada una de ellas por leyes propias de esas estructuras, leyes que tienen una autonomía relativa respecto de las leyes de otras estructuras. Las leyes de la Física no determinan las leyes de la Biología, ni las leyes de la Biología determinan las leyes de la Psicología. Boutroux llama a estas diferentes estructuras relativamente autónomas “mundos”. Lo que es crucial para nuestro tema es la razón que Boutroux da para explicar por qué la reducción de las leyes de un “mundo” a otro no es posible. Cada “mundo”, nos dice Boutroux, incorpora aspectos contingentes en su formación que no hacen posible la captura por medio de leyes de la estructura de otros mundos. He aquí Boutroux:

Descubrir si realmente hay causas que no provienen de leyes requiere indagar qué tanto las leyes que gobiernan los fenómenos son leyes necesarias. Si la contingencia es después de todo una ilusión que proviene de nuestra ignorancia más o menos total de las condiciones determinantes, la causa no es más que el antecedente de la ley, o más bien, es la ley en su aspecto general; y en este caso es legítimo hablar de la autonomía del entendimiento. Pero si el mundo dado manifestara un cierto grado de contingencia genuina irreducible, entonces habría base para pensar que las leyes de la naturaleza no son autosuficientes sino que su razón de ser proviene de causas que las gobiernan: *el punto de vista del entendimiento no es pues, manifestamente, el conocimiento último de las cosas.* (cursivas y traducción de S. M. Boutroux 1920, p. 6.)

Para Boutroux, “el carácter contingente de las leyes de la naturaleza dignifica la vida y constituye puntos de apoyo para poder ascender a una vida más alta”. *Las leyes para poder explicar requieren de la incorporación de elecciones*. En el caso del cosmos las elecciones las hace Dios, en el caso de la sociedad las elecciones las hacemos nosotros. Boutroux como Whewell, quiere llegar a la conclusión que “Dios no es sólo el creador del mundo: es también su providencia, y supervisa los detalles así como el todo”<sup>20</sup>. En términos epistémicos, la lección es que “el punto de vista del entendimiento no es manifiestamente el conocimiento último de las cosas”, como lo dice Boutroux en la última cita.

Whewell asume que el alcance de las leyes de Newton no es universal, por lo menos en tanto que la estabilidad del Sistema Solar es algo que no pueden explicar las leyes. Boutroux generaliza el argumento de Whewell: si las leyes no son universales entonces no pueden dar cuenta del avance de la ciencia. Se requiere de Dios para sustentar el entendimiento al que apuntan. El conocimiento último de las cosas requiere de algo más que entendimiento científico. Nótese que Boutroux asume que la contingencia de nuestras explicaciones se representa en la separación en “mundos”, que aglutinan un grupo distintivo de leyes, que a su vez se estudian por las diferentes disciplinas científicas. Los diferentes mundos se sustentan en grupos de leyes con una marcada autonomía explicativa. Nótese que tanto en Whewell como en Boutroux se asume que el entendimiento que generan las explicaciones por leyes agota el entendimiento que puede generar la ciencia. Fuera de las leyes no hay nada con capacidad explicativa. Ha sido muy común pensar que lo contingente entra en las explicaciones como condiciones iniciales que permiten que las leyes expliquen. Para Boutroux la contingencia puede representarse de otra manera, *pero siempre como parte de las condiciones de aplicación de una ley*.

Se tiende a asociar lo contingente con lo azaroso, con lo que no tiene orden, y por lo tanto con lo que no puede servir para explicar algo. Esto tiene sentido si asumimos que el poder explicativo de una ley proviene de su necesidad, pero si cuestionamos la necesidad de las leyes, o si de alguna manera contextualizamos esa necesidad (en el sentido en el que Cartwright habla de capacidades, por ejemplo), entonces tenemos que concederle a las representaciones de lo contingente un papel activo en la generación de entendimiento. Si estamos dispuestos a aceptar la idea que por lo menos algunas leyes son contingentes, en el sentido que no son necesarias, entonces es claro que lo contingente tiene poder explicativo. Pero como ya vimos en la introducción, el poder explicativo no tiene que provenir de leyes. Así, podemos distinguir entre dos tipos de contingencia: el tipo de sucesos o fenómenos contingentes que pueden considerarse bajo el alcance explicativo de una ley, y los que no. Si se asume que sólo la contingencia que puede ser representada en leyes tiene capacidad explicativa, entonces el problema consiste en caracterizar aquello que es una ley, de una manera que tendría que identificar leyes en explicaciones como la que dimos en la introducción basada en un análisis dimensional. Si se asume que pueden haber representaciones de lo contingente con poder explicativo, que no son leyes, entonces, además de caracterizar lo que son las

leyes, el problema consiste en explicar en qué puede consistir una representación de lo contingente con capacidad explicativa que no proviene de leyes. El problema importante, sin embargo, es cómo la representación de aspectos contingentes del mundo puede tener capacidad explicativa.

En la próxima sección desarrollo algunos ejemplos de cómo aspectos contingentes del mundo se representan en modelos matemáticos en la Física. Esto va a dejar claro un sentido importante en el que la representación de lo contingente no se reduce a leyes, y además va a mostrarnos una manera en la que esas representaciones sustentan generalizaciones con capacidad explicativa.

### **La representación de la contingencia en explicaciones de la Física**

Una ley física dice que todos los sistemas físicos de un cierto tipo se comportan de una cierta manera. Los planetas se mueven en órbitas elípticas que satisfacen las leyes de Kepler. Los fotones obedecen a las leyes de la óptica, etc. Para que una ley tenga sentido tenemos que tener claro a que tipo de sistema se aplica. Pero usualmente los tipos de sistemas los identificamos a través de las leyes que los caracterizan. Un gas ideal es el tipo de sistema al que se aplica la ley de Boyle. Un péndulo es el tipo de sistema al que se aplican las leyes del movimiento armónico simple. Los fotones obedecen la ley de la difracción. Esto no es un círculo vicioso porque los diferentes sistemas están sujetos a diferentes leyes. Una muestra de gas ideal tiene una cierta masa molecular y genera un cierto espectro. Un péndulo, como vimos es tal que hay una proporcionalidad entre dos cantidades importantes del sistema. Las leyes de Kepler aplican a nuestro Sistema Solar, pero también aplican las leyes de Newton, y los planetas están sujetos a muchas otras leyes.

Una ley física tiene una cierta generalidad. Pero el tipo de generalidad que tienen no tiene nada que ver con el tipo de generalidad que asociamos con enunciados como: para todo  $x$ , si  $Ax$  entonces  $Bx$ . La generalidad a la que se refieren las leyes de Newton requiere la construcción de toda una serie de cantidades que van a permitirnos que la ley diga algo. Tenemos que caracterizar un partícula, una trayectoria, dar una caracterización del campo pertinente. En suma, tenemos que hacer una descripción del tipo de sistemas a los que la ley aplica, para luego poder escribir la ecuación del movimiento. En otras palabras, para que tenga sentido una ley se requiere la descripción contingente de los sistemas a los que la ley aplica. Los sistemas se caracterizan por ciertos parámetros, algunos de los cuales son variables. *Estas variables representan un primer tipo de generalidad de la teoría que podemos llamar "generalidad interna"* (Scheibe, en Weinert 1995). Pero este no es el único tipo de generalidad que juega un papel en un modelo físico de un proceso. Un segundo tipo de generalidad tiene que ver con el tipo de generalidad que ejemplifica la ley de la gravitación de Newton, o las leyes del electromagnetismo. La generalidad en cuestión, que podemos llamar *externa*, se refiere

a relaciones entre diferentes cuerpos en el universo. Estrictamente hablando, todos los cuerpos en el universo están relacionados de acuerdo con la ley con un cuerpo en particular. En otras palabras, un sistema sólo puede describirse haciendo referencia a todos los sistemas de los que es una parte. Ahora bien, estos dos tipos de generalidad juegan un papel en las explicaciones en la Física, pero en el marco de modelos en los que se toma un subsistema pertinente como representando el todo que presupone el sentido externo de generalidad. Pero estas idealizaciones no están “dadas” por la teoría, no son parte de la teoría, sino de la manera como la teoría nos sirve de guía para la construcción de modelos.

Usualmente no se distingue entre los dos sentidos de generalidad mencionados arriba. Esto es entendible porque las leyes, que requieren para su formulación las descripciones de estado que subyacen el primer sentido de generalidad, si se asume que son necesarias, hacen redundante esta generalidad. Si las leyes son necesarias, entonces el carácter contingente de las descripciones de estado del sistema se reducen a las condiciones iniciales y de frontera, pero si pensamos que las leyes no son necesarias, entonces tenemos que tomarnos más en serio el primer sentido de generalidad como asociado con cierto tipo de generalizaciones contingentes respecto a un mismo sistema. Pero, ¿cómo podemos justificar esa referencia a un mismo sistema?

En la Física hay varias maneras de hacer esto. Una es recurriendo a un tercer tipo de generalidad implícito en supuestos acerca del tipo de geometría que caracterizan el espacio-tiempo en el que tienen lugar los procesos físicos en cuestión. Podemos llamar a este tipo de generalidad, *generalidad de fondo*. Otra manera es recurriendo a la generalidad implícitamente representada en la constitución de sistemas, generalidad que podemos llamar *constitutiva*.

Sólo me interesa hacer una observación sobre generalidad constitutiva. Generalidad constitutiva es el tipo de generalidad que nos permite explicar la proporcionalidad entre el periodo y  $\sqrt{L/g}$ . Es un tipo de generalidad que surge de la estabilidad de las propiedades de los materiales y de las dimensiones de las partes que constituyen un sistema físico, estabilidad que permite que, en el caso del péndulo, por ejemplo, las diferentes relaciones entre aceleraciones y amplitud sean identificables colectivamente en un cierto intervalo de tiempo. Este tipo de generalidad es muy importante en la Física, más importante de lo que se reconoce usualmente. Es más, creo que este tipo de generalidad es fundamental, en el sentido que está presupuesto en las otras nociones de generalidad, pero esto no es algo que pretendo defender aquí. Es usual que se piense que el concepto de generalidad que hemos llamado de fondo es fundamental. En la mecánica newtoniana, y en general en las teorías clásicas de la Física, los objetos físicos se caracterizan por su situación (en un sistema de coordenadas) con respecto al espacio absoluto, o en todo caso respecto a un sistema de referencia (en el caso del espacio de Minkowski, por ejemplo). Pero en el caso de la teoría de la relatividad general no hay un espacio-tiempo respecto al cual podamos coordinar la identificación de los sistemas. La métrica y la topología dependen de la distribución de la ma-

teria-energía en todo el espacio-tiempo, esto es, *dependen de aspectos contingentes del mundo que no están especificados por la teoría*. En este caso, sin embargo, la generalidad constitutiva sigue siendo importante y es posible argüir que este tipo de generalidad permite la individuación de los sistemas que nos permite el paso de la identificación de sistemas y procesos a partir de la constitución de sucesos aislados.

Hemos visto que en la Física hay diferentes nociones de generalidad que pueden jugar un papel en las explicaciones (aunque no es algo que elaboramos). Algunos de esos tipos de generalidad no tienen por qué expresarse a través de leyes, y dependiendo de supuestos metafísicos, y del tipo de leyes, la generalidad de las leyes puede o no cubrir esos tipos de generalidad, pero esto no es algo que tenga que ser el caso. En particular, lo que he llamado generalidad constitutiva no tiene por qué reducirse al tipo de generalidad que se expresa en lo que (por lo menos usualmente) llamamos leyes. La segunda explicación de la proporcionalidad entre el periodo y  $\sqrt{L}$  es un ejemplo pertinente.

Tradicionalmente, en la medida que se asume que es sólo a través de los dos primeros sentidos de generalidad mencionados arriba (el sentido “interno” y el “externo” de generalidad) que los aspectos contingentes del mundo entran en las explicaciones científicas, entonces se está asumiendo que el entendimiento que nos da la ciencia sólo puede provenir de la articulación de conocimiento que nos permiten las teorías. Pero esto es cuestionable, el tipo de generalidad que he llamado constitutivo no está en ningún sentido importante restringido a teorías. Adelante veremos otros ejemplos de representaciones de generalidades no asociadas a teorías, sino a métodos y modelos computacionales.

## **La explicación deductiva como marco para la integración de explicaciones**

En la medida que la filosofía de la ciencia en el siglo xx es parte de una tradición naturalista en epistemología, es claro que el problema al que apuntan Whewell y Boutroux tiene que replantearse como el problema de cómo entender la ciencia de manera tal que, sin recurrir a supuestos no naturalistas, podamos dar cuenta del avance de la ciencia a través de un modelo filosófico de sus explicaciones. El modelo filosófico de Hempel tiene una respuesta muy interesante y clara al respecto, aunque es una respuesta que generalmente se pierde de vista en la discusión de sus ideas. Esto sin lugar a dudas tiene que ver con el hecho que la discusión sobre el tema de la explicación ha tendido a perder de vista el problema que aquí consideramos central, el problema de cómo la estructura de las explicaciones científicas da pie al entendimiento a través de la integración de explicaciones. Esto es entendible porque para alguien como Hempel que piensa que el valor epistémico de las explicaciones puede representarse en su totalidad en términos de su estructura lógica extensional, el avance de la ciencia puede representarse de manera muy simple como el aumento de respuestas a preguntas por qué. Hempel, como en general los positivistas lógicos, y una buena parte de los filósofos de

la ciencia hasta hoy día, piensan que si bien podemos decir que las explicaciones promueven el entendimiento, este es un resultado que no se sigue de una caracterización conceptual-epistémica de lo que es una explicación, sino que es más bien el efecto de las explicaciones en nuestra muy peculiar psicología. Como lo pone Hempel, “expresiones como ‘ámbito del entendimiento’ y ‘comprensión’ no pertenecen al vocabulario de la lógica, pues refieren a aspectos psicológicos o pragmáticos de la explicación<sup>21</sup>.” No obstante, hay una tensión interesante entre dos diferentes nociones de entendimiento que provienen de dos diferentes tipos de explicación que Hempel presenta como dos aspectos de un mismo concepto.

Hempel piensa que (esencialmente) las explicaciones científicas pueden ser de dos tipos. Explicaciones de sucesos y explicaciones de leyes. Ambos tipos de explicaciones tienen la misma forma, ambos son argumentos que satisfacen ciertas condiciones adicionales, lo que lleva a Hempel a asumir que son dos variantes de un mismo tipo de explicación. Como veremos, esto no es del todo correcto, sobre todo porque esos dos tipos de explicaciones apuntan a diferentes nociones de entendimiento.

Las explicaciones de sucesos son argumentos que nos hacen ver una relación nómica entre dos sucesos. La relación nómica genera una expectativa retroactiva de la ocurrencia del suceso que se sustenta en leyes. La construcción de esta relación nómica requiere identificar condiciones antecedentes apropiadas y las leyes pertinentes. La identificación de estas condiciones antecedentes y leyes pertinentes va de la mano con la identificación de los tipos de sucesos que se relacionan en la explicación. Así, podemos reformular una explicación de sucesos hempeliana como una descripción de cómo diferentes pares de clases de sucesos están nómicamente relacionadas. Esto apunta a una idea de entendimiento que podría caracterizarse como un avance en el conocimiento de la estructura causal del mundo. Este es un tipo de entendimiento que podemos caracterizar como acumulativo. El entendimiento consistiría simplemente en reconocer el aumento de conocimiento de la estructura causal del mundo que puede representarse en relaciones causales entre pares de (tipos) de sucesos. Si el mundo tuviera algún tipo de estructura causal no local este tipo de caracterización del entendimiento no daría cuenta de la estructura del mundo.

Las explicaciones de leyes en Hempel son de una naturaleza muy distinta. El sentido en el que la explicación de una ley resulta en la expectativa de su ocurrencia es diferente del sentido en el que un suceso es esperable. La explicación de una ley lo que hace es más bien situarnos la ley respecto a un sistema de leyes que consideramos aceptado por la ciencia. La ley se explica en la medida que podemos verla como un caso especial de una o varias leyes, que a su vez, por lo general, son casos especiales de otras. En la medida que este sistema jerárquico de leyes crece las explicaciones de leyes nos dan un sentido claro en el que la ciencia avanza. Nótese que las explicaciones de sucesos no tienen la profundidad epistémica (que permite una caracterización global del avance de la ciencia) asociada con las explicaciones de leyes. Las explicaciones de sucesos culminan con la caracterización de clases de sucesos nómicamente relacionados.

Las explicaciones de leyes se representan en una estructura compleja jerarquizada cuyo cambio a través de la historia de la ciencia puede asociarse con una representación global del avance de la ciencia.

En resumen, podemos decir que en Hempel hay dos sugerencias que no se distinguen claramente respecto a la manera en que su modelo filosófico de la explicación promueve una noción de entendimiento científico<sup>22</sup>. Por un lado las explicaciones de sucesos promueven la idea de que la ciencia avanza en la medida que conocemos mejor los nexos nómicos entre clases de sucesos. Pero a menos que reformulemos esta relación en término de las leyes implicadas, esas relaciones entre clases no apuntan en ninguna dirección particular. Localmente nos dicen algo respecto a cómo una clase de sucesos está relacionada con otra clase, pero esto no genera una jerarquía de clases de sucesos. Puede generar cadenas de clases de sucesos (porque la relación causal se asume que es transitiva) pero no jerarquías. Además, en la medida que las diferentes clases pueden ir cambiando a lo largo de la historia de la ciencia, esas relaciones no son estables. Las clases de sucesos no tienen porque ser clases permanentes o “naturales”, sus relaciones dependen de nuestros intereses y aparatos y, por lo tanto, no pueden servir de base para una caracterización del avance de la ciencia con el tipo de objetividad que Hempel exigiría. Basar la objetividad de la ciencia, o el concepto de entendimiento científico, en este tipo de estructura tendría que confrontar el tipo de problema que tuvo que confrontar el concepto positivista de progreso en el siglo XIX. Recordémonos que esta noción de progreso requiere que haya un sustrato de verdades no sujetas a cuestionamiento posterior; si no hay tal sustrato no podemos decir que haya progreso.

Por otro lado la idea de explicaciones de leyes promueve una idea de entendimiento global. En la medida que las leyes están allí para quedarse, la red que construyen crece conforme avanza la ciencia, y ese crecimiento es lo que constituye el avance de la ciencia. Si equivocadamente le atribuimos a una regularidad el estatus de ley, nuestra noción de avance se distorsiona, pero no se pierde de vista. De esta manera Hempel puede verse como naturalizando la noción de entendimiento de manera tal que podamos decir que el objetivo de una teoría de la explicación es dar una caracterización de cómo la generación de explicaciones (reconstruidas apropiadamente) nos lleva a entender el mundo natural, en un sentido que va más allá del conocimiento fáctico que producen las explicaciones de sucesos. Así, Hempel podría responderle a Whewell y Boutroux que hay manera de entender a las leyes como universales y por lo tanto a las explicaciones científicas como parte de un rompecabezas que va delineando la estructura última del mundo. Una estructura que según Hempel es necesaria, pero que su necesidad no proviene de un supuesto metafísico respecto a alguna noción de necesidad física (que representarían las leyes), sino que proviene de la estructura deductiva de las explicaciones. En la medida que las explicaciones son explicaciones deductivas a partir de leyes los aspectos contingentes del mundo tienen que representarse como enunciados que expresan condiciones iniciales o de frontera. Si las leyes de Newton no pueden explicar la estabilidad del Sistema Solar esto tiene que querer decir que hay otras leyes que

pueden explicarla. Desde la perspectiva de Hempel, el supuesto de que hay tales leyes no es algo que tengamos que justificar. Después de todo no estamos asumiendo que las leyes tienen un contenido empírico adicional a los sucesos que requieren explicación. Las leyes son representaciones nuestras de generalizaciones no accidentales.

El problema es que la noción de ley universal que Hempel utiliza no parece ser una buena representación de las leyes científicas, y por lo tanto la prometedora manera de naturalizar el concepto de entendimiento recurriendo a la noción de estructura lógica de explicaciones se viene abajo. Wesley Salmon, y muchos filósofos posteriormente, han tratado de recuperar el sentido de entendimiento local que está implícito en la idea hempeliana de que explicar es describir el nexa nómico entre (tipos de) sucesos. En primer lugar Salmon (en 1984) caracteriza de manera más precisa en qué consiste el nexa nómico en cuestión, en términos del concepto de “marca” y de una generalización del concepto de espacio-tiempo de la relatividad especial como el tipo de red causal que subyace cualquier otro proceso causal. En principio esta idea tiene la gran ventaja que deja claro cómo tiene lugar la individuación de los sucesos o procesos que entran en nuestras explicaciones<sup>23</sup>. En la medida que hablamos de puntos del espacio-tiempo que están conectados causalmente, entonces podemos pensar que la geometría del espacio es el sustrato universal apropiado para hablar de causas. El problema es que hay puntos del espacio-tiempo que no están conectados causalmente y, por lo tanto, Salmon tendría que entrar a considerar el papel de contrafácticos y aspectos modales de la causalidad que él quiere dejar de lado. Hay muchos otros problemas con la propuesta de Salmon que hoy en día son bien conocidos y ampliamente aceptados como tales<sup>24</sup>. Podríamos tratar de desarrollar una caracterización de la causalidad en termino de contrafácticos, y promover la idea que el entendimiento científico puede caracterizarse en esos términos. Creo que este tipo de enfoque es prometedor, pero limitado. La integración de explicaciones no se reduce a la acumulación del conocimiento de nexos causales o de patrones de explicación causal de fenómenos. Como lo muestran los ejemplos anteriores, muchas veces la integración requiere de la contrastación de explicaciones diferentes sobre un mismo suceso, y muchas veces requiere tomar en cuenta la manera como esas explicaciones se sitúan respecto a valores o estándares. Caracterizar una noción global de entendimiento tendría muchas ventajas sobre una noción puramente local. En primer lugar nos permitiría caracterizar el sentido en el que podemos hablar de la integración de explicaciones, como algo más que una mera acumulación de explicaciones diferentes. En segundo lugar nos permitiría “situar” las explicaciones causales en contextos normativos amplios, el tipo de contexto en el cual podemos decir que un cierto fenómeno o proceso es digno de atención particular, en relación con ciertos valores y expectativas. La Medicina puede desarrollarse sobre todo en relación con enfermedades existentes, o puede desarrollarse en una paradigma preventivo. En qué dirección se desarrolla la Medicina tiene mucho que ver con el tipo de valores que están involucrados en su desarrollo. La Física puede desarrollarse poniendo especial énfasis en el desarrollo de tecnologías para la obtención de energía del Sol, o puede desarrollarse poniendo especial énfasis en el desarrollo de un



sistema de defensa contra misiles. Dependiendo de cuáles son los valores que guían el desarrollo de la Medicina o la Física, vamos a tender a producir determinadas explicaciones y fenómenos y, por lo tanto, buscar la integración en direcciones diferentes.

### **La unificación de explicaciones como paradigma de integración**

Varios filósofos han tratado de entender la integración de explicaciones a través de modelos de reducción entre teorías. En este caso se asume que el conocimiento científico se articula preeminentemente en teorías y que las teorías científicas pueden relacionarse entre sí por medio de una relación de reducción, sobre la que hay muchas propuestas. Este tipo de propuestas no voy a revisarlas aquí, ni siquiera de manera perentoria. Este es el tipo de enfoque asociado con la concepción tradicional de lo que es la epistemología que estamos dejando de lado. Pero el reduccionismo no es la única manera de desarrollar una noción de integración global de las explicaciones. Otra manera es a través de la idea de que las explicaciones se integran en la medida que las explicaciones entran a formar parte de una estructura que representaría a la ciencia como un todo, y en este sentido esta idea de unificación sería un muy buen ejemplo de cómo la integración de explicaciones es una manera de avanzar el entendimiento.

Philip Kitcher ha tratado de revivir el proyecto de Hempel, de desarrollar una noción global de entendimiento basada en el desarrollo de un modelo de la estructura deductiva de los argumentos que se articulan en explicaciones. La idea es clara e intuitivamente llamativa. El avance del entendimiento científico se logra en la medida que las explicaciones científicas logran reducir el número de supuestos independientes de los que tiene que partirse para explicar en la ciencia. Kitcher piensa que en todo caso este tipo de entendimiento va más allá de lo que puede ofrecernos una historia causal, por más detallada que sea esta historia. Según Kitcher:

*La ciencia avanza nuestro entendimiento de la naturaleza en la medida que nos muestra cómo derivar descripciones de muchos fenómenos utilizando una y otra vez los mismos patrones de derivación, y, demostrando esto, nos enseña cómo reducir el número de tipos de hechos que tenemos que aceptar como últimos (o brutos). (Kitcher 1989, p. 432.)*

Estamos de acuerdo con Kitcher en que el entendimiento que proviene de la integración de explicaciones tiene que ser algo más que una historia causal, pero como veremos, tenemos una idea muy diferente de por qué es algo más que una historia causal. Nótese que mientras que lo que hemos sugerido arriba apunta a que el entendimiento proviene de la diversidad de explicaciones, que nos permiten la contrastación y el avance del entendimiento a través de una integración de explicaciones en direcciones orientadas por nuestros valores y expectativas, para Kitcher la unificación es una estructura del conocimiento objetivo, representable en una estructura deductiva,

algo que “está allí para quedarse”. Va a ser pues importante entender la propuesta de Kitcher y criticarla.

Para Kitcher, una derivación es una explicación si es un miembro de un conjunto distinguido de derivaciones, el conjunto  $E(K)$ , al que Kitcher se refiere como “el almacén de explicaciones a partir de  $K$ ”.  $K$  es el conjunto de enunciados aceptados por la comunidad científica.  $E(K)$  es el conjunto de derivaciones que se considera que sistematizan de la mejor manera  $K$ . Un argumento deductivo explica sólo si pertenece a  $E(K)$ . En particular, un argumento apoya la identificación de un cierto tipo de suceso como causa de otro sólo si el argumento es parte de  $E(K)$ . Es pues claro que el concepto de causa se subordina al de explicación, y que el valor cognitivo preeminente es el entendimiento derivado de la unificación que sustenta  $E(K)$ . Los aspectos contingentes del mundo quedan representados en  $K$  sólo como enunciados singulares que se refieren a hechos particulares, como la posición en el eje  $x$  es 5. Estos enunciados juegan un papel pasivo como filtros o restricciones que ayudan a eliminar derivaciones posibles en  $E(K)$ . Un diagrama no juega, como tal, un papel en caracterizar  $E(K)$ . El diagrama en todo caso tiene que descomponerse en una lista muy larga equivalente de enunciados. El tipo de razonamiento que Jon Bairwise caracteriza como razonamiento heterogéneo, o los razonamientos que en psicología cognitiva se les conoce “razonamiento situados” no podría jugar un papel en  $E(K)$ <sup>25</sup>. Pero este tipo de razonamiento es crucial en la ciencia, precisamente sirve muchas veces para integrar representaciones de aspectos contingentes del mundo con poder explicativo en diferentes tipos de explicaciones. Este es el tipo de razonamiento que muchas veces entra en la explicación de por qué un aparato falla, o por qué es confiable. En el contexto de una estructura como  $E(K)$  una gráfica o un diagrama no podría guiar una explicación, como muchas veces lo hacen, es más, no podrían ser parte de argumentos de  $E(K)$  a menos que se transforme el razonamiento en un razonamiento homogéneo, algo que es muy costoso en término de recursos explicativos. Es más, nótese que cualquier aspecto contingente distintivo del mundo que pensáramos tiene valor explicativo no podrían derivarse de un argumento en  $E(K)$ , a menos que de manera sustancial ese argumento incluya como premisa un enunciado en forma de ley que describa ese aspecto contingente del mundo<sup>26</sup>. Esto es un muy buen argumento de por qué se requieren leyes en explicaciones, siempre y cuando estemos dispuestos a aceptar que una explicación requiere de una formulación lingüística homogénea. Para concluir esta sección quiero mostrar cómo las representaciones de aspectos contingentes del mundo que tienen lugar a través del desarrollo de técnicas de representación que utilizan computadores pueden jugar un papel crucial en nuestras explicaciones. Esta es otra manera en la que la representación de lo contingente puede jugar un papel importante en la generación de explicaciones que entendemos como contribuyendo al avance de la ciencia.

La estabilidad del Sistema Solar que tanto le preocupaba a Whewell se explica hoy día a partir de un análisis del tipo de órbitas posibles para los diferentes planetas que tiene lugar a través de modelos computacionales del Sistema Solar. Resultados

como el de Arnold, en 1963, que demostró que cualquier Sistema Solar, a pesar de su potencial comportamiento caótico, va a permanecer *quasi*-periódico en tanto que las masas, inclinaciones y excentricidades de los planetas sean suficientemente pequeñas, sirven de base para explicar esa estabilidad.

El modelo del Sistema Solar inicialmente se desarrolló a partir de observaciones de posiciones de los planetas. En la actualidad ese modelo se construye no sólo a partir de observaciones, sino utilizando generalizaciones que provienen de modelos computacionales muy elaborados (algunos de los cuales ni siquiera son diseñados por seres humanos sino que son el resultado de una selección automatizada de modelos) que nos permiten analizar posibles órbitas de los planetas, no sólo las órbitas observadas<sup>27</sup>. Esta es una diferencia cualitativa importante con la manera en la que se planteaba el problema en el siglo XIX porque nos obliga a pensar en el tipo de ontología de lo posible que enmarca el entendimiento científico. En el caso de generalizaciones de observaciones lo posible puede caracterizarse en término del tipo de normas que llamamos leyes, pero en el caso de generalizaciones que tienen lugar en el marco de sistemas tecnológicos muchas veces el concepto de ley deja de ser apropiado. Esto es quizás un prejuicio psicológico que perderemos conforme aumente nuestra familiaridad con generalizaciones construidas tecnológicamente que tienen capacidad explicativa. Pero en la medida que el tipo de explicaciones que provienen de un análisis dimensional son buenas explicaciones de sucesos físicos, o en la medida que la producción de un fenómeno no necesariamente puede explicarse en término de leyes, hay razones de peso para reconocer los límites de la terminología de leyes que fue tan útil para entender la empresa científica hasta entrado el siglo XX.

Nótese que esta explicación es una explicación basada en una generalización acerca de *sistemas solares posibles*. El sentido de posible que es pertinente para la explicación tiene que ver con el lento y difícil desarrollo, producto de mucho esfuerzo, de los instrumentos computacionales adecuados para poder indagar el futuro del Sistema Solar. Al principio los modelos computacionales requerían de idealizaciones muy simplistas, y no podían considerar periodos significativamente largos. La historia de cómo se han desarrollado los computadores y programas que han permitido una caracterización más *realista del Sistema Solar posible* es una historia fascinante<sup>28</sup>. Nos interesa ahora sólo recalcar que la explicación de la estabilidad del Sistema Solar proviene de una generalización construida a través de una larga historia del desarrollo de modelos computacionales, y la nada despreciable tecnología asociada. A la pregunta de por qué la presencia de caos y la no predictabilidad asociada son compatibles con la estabilidad del Sistema Solar en periodos de miles de millones de años, no hay una explicación fácil. Pero una serie de argumentos independientes, que utilizan modelos computacionales y métodos, muchas veces muy diferentes, convergen en sugerir que no es esperable una catástrofe en por lo menos tres mil millones de años. Creo que es claro que este tipo de explicaciones no tiene lugar en  $E(K)$ . A menos que pretendiéramos que la historia de la Matemática y la Física, y los computadores fueran parte de  $E(K)$ .

Algo que simplemente reduciría a la trivialidad la propuesta de Kitcher. Además, una parte muy importante de la explicación es la robustez *predictiva* que exhiben varios modelos y métodos en relación al *explanandum*. Esa robustez de la predicción es parte crucial de la explicación. Este tipo de estrategia explicativa queda fuera de  $E(K)$ . La robustez no se obtiene de la búsqueda por reducir el número de patrones de inferencia, sino al contrario, se obtiene de la presencia de diferentes inferencias que apuntan a la misma predicción.

Podemos concluir entonces que la manera en la que las explicaciones científicas generan entendimiento, según Kitcher, no refleja la diversidad de maneras en las que la ciencia construye entendimiento. La reducción en el número de patrones de inferencia deductiva utilizados en la ciencia es una manera importante en la que las explicaciones generan entendimiento, pero no la única. En casos como los recién examinados, la diversidad de maneras por medio de las cuales se llega a una predicción, a partir de un análisis de situaciones contingentes sustenta la explicación y genera entendimiento. Otra dificultad con el proyecto de Kitcher, que sería una dificultad para cualquier modelo de explicación homogéneo (puramente lingüístico) es que la homogeneidad tiende a hacer invisible la *estructura* de lo contingente en las explicaciones. Esta estructura muchas veces entra en las explicaciones, como en el caso de la explicación de la proporcionalidad del periodo y el largo del péndulo que vimos en la sección anterior, de manera cualitativa. Filósofos de la ciencia que abandonan el ideal deductivo de las explicaciones y reconocen la importancia de lo contingente en las explicaciones científicas tienden a asumir que la representación de lo contingente se da a través de teorías, o a través de restricciones a la aplicación de leyes teóricas, y no le prestan atención al problema de cómo se sustentan generalizaciones en la estructura cualitativa de lo contingente.

### **El concepto de contingencia como restricción al concepto de ley**

Muchas veces se habla como si lo contingente en las explicaciones por leyes entrara sólo en las condiciones iniciales (o en todo caso en un conjunto de condiciones *ceteris paribus*). Por lo que se tiende a pensar que tomarse en serio el papel de la contingencia en las explicaciones requiere reconocer la presencia de leyes no universales que representan la estructura de lo contingente. Esta es la idea de Boutroux. Es también la idea de varios filósofos contemporáneos de la ciencia. Por ejemplo, Sandra Mitchell busca caracterizar los diferentes grados de contingencia de diferentes generalizaciones, como punto de partida para una incorporación de lo contingente en las explicaciones. Mitchell considera que es posible establecer una escala de contingencia en la que, por ejemplo, tiene sentido decir que la teoría de Mendel es más contingente que la teoría de Newton. Nótese que la idea es que la estructura de lo contingente se representa en diferencias entre tipos de generalizaciones que pueden ordenarse en una cierta escala.

Se reconoce que lo contingente tiene una estructura cualitativa, pero se piensa que esta estructura se puede representar por los contornos de aplicabilidad de las leyes. Esto tiende a simplificar excesivamente esa estructura.

Mitchell reconoce que las generalizaciones accidentales no son igualmente accidentales. Por ejemplo, el famoso ejemplo de la generalización “todas las monedas en el bolsillo de Goodman son de cobre” es una generalización muy frágil, no hay ninguna razón para pensar que si Goodman pone otra moneda en su bolsillo ésta va a ser de cobre. Tomemos otro ejemplo bien conocido, el ejemplo de la generalización “todos los trozos de oro que existen naturalmente sobre la Tierra pesan menos de cien toneladas”. Qué condiciones podemos dar que sirvan de base para sustentar la predicción que el próximo pedazo de oro que encontremos va a pesar menos de cien toneladas? Hay diferentes tipos de condiciones que podemos formular. Por un lado están las condiciones usualmente mencionadas en combinación con este ejemplo. El oro es un material relativamente escaso en nuestro universo, algo que es una consecuencia de cómo fueron formados los elementos químicos en nuestro universo. Según el modelo mejor aceptado científicamente de éste, inicialmente se formaron sólo hidrógeno y helio, y sólo posteriormente se formaron los otros elementos. De acuerdo con este modelo, los metales pesados, como el oro o el uranio, son muy escasos en nuestro universo, y en particular en nuestro planeta. Siendo esto así, si bien la generalización “todos los pedazos de oro que existen naturalmente sobre la Tierra pesan menos de cien toneladas” es una generalización bastante confiable, hay una diferencia entre esta generalización y la siguiente: “todos los pedazos de uranio que existen naturalmente sobre la Tierra pesan menos de cien toneladas”. Esta generalización sí parece estar sustentada en una ley de la naturaleza. No es posible tener un pedazo de uranio de ese tamaño sin que se vuelva inestable y tenga lugar una reacción en cadena. Según Mitchell es posible ordenar este tipo de situaciones a lo largo de un eje que representaría el grado de contingencia de las diferentes generalizaciones. Y este tipo de representación puede extenderse a las leyes de la naturaleza.

En un extremo están las generalizaciones que son estables en todo el espacio-tiempo. En el otro extremo están las llamadas generalizaciones accidentales. En el medio están la mayoría de las generalizaciones científicas que llamamos leyes. Estoy de acuerdo con Mitchell que una vez que la discusión se centra en distinguir generalizaciones accidentales de leyes, o en distinguir necesidad natural de contingencia, se tiende a perder de vista algo que es importante, la manera como las diferencias entre tipos de contingencia juegan un papel crucial en la caracterización de los tipos de estructura causal que se representan en los diferentes tipos de prácticas científicas. Sin embargo, no parece ser posible caracterizar los tipos de contingencia a lo largo de un eje que ordene las diferentes leyes en término del “grado” de universalidad que representan (Mitchell 2003). Lo contingente no puede representarse en términos de grados de universalidad.

Según Mitchell, la ley que se acerca más al ideal filosófico de universalidad sin excepciones es la ley de la conservación de la masa-energía. Para ella, la segunda ley de

la termodinámica sería menos universal. En su formulación clásica, la ley dice que no puede construirse una máquina con movimiento perpetuo. O en una formulación alternativa, dice que no es posible extraer trabajo de un sistema sin que aumente su entropía. En una formulación estadística la ley es congruente con un decrecimiento espontáneo de la entropía (si bien esto es algo que sólo sucede con una probabilidad muy baja). Pero no tiene sentido decir que esta ley “es claramente menos fuerte que la ley de la conservación de la masa-energía”. El hecho que la ley utilice de manera esencial el concepto de probabilidad de ocurrencia de sucesos no la hace menos universal. Al contrario, si asumimos un mundo no determinista, una ley probabilista sería el único tipo de ley que podría ser universal. Más bien, creo que es claro que las maneras como las dos leyes en cuestión tienen excepciones son propias del tipo de modelos en los que la ley sustenta explicaciones, y se explican a través de la teoría que individualiza o distingue las leyes, y a través de las situaciones que se consideran ejemplifican las leyes.

No parece pues posible hacer el tipo de clasificación de lo contingente que propone Mitchell. Otra razón para rechazar la propuesta de Mitchell tiene que ver con la lección que extrajimos del ejemplo de cómo se explica hoy día la estabilidad del Sistema Solar. La manera en la que aspectos contingentes del mundo entran en una explicación no se reduce a lo que se representa en generalizaciones no universales del tipo que usualmente asociamos con el concepto de ley, como lo sugiere Mitchell. Las generalizaciones que asociamos con el concepto de ley pretenden representar regularidades de la experiencia. Pero, como hemos visto, hay aspectos contingentes del mundo que pueden sustentar generalizaciones con capacidad explicativa, que no son expresables como regularidades de la experiencia.

Consideremos otro de los ejemplos de ley examinados por Mitchell. La ley de Mendel depende de una serie de condiciones que se dieron en el proceso de la evolución de la vida en nuestro planeta. Estas condiciones dieron lugar a una segregación 50:50 en un ambiente particular en el que su adecuación era mayor que otras variantes, y en el que una historia muy particular tuvo lugar e hizo que factores azarosos no destruyeran esa ventaja selectiva inicial. Si estas condiciones hubieran sido diferentes una evolución significativamente diferente pudo haber tenido lugar y por lo tanto la ley de Mendel no tendría la importancia que tiene para nosotros hoy día. Esto es cierto, pero no dice mucho en relación con la profundidad de las explicaciones que permite la ley de Mendel. Por ejemplo, es posible que en el futuro cercano podamos tener escenarios posibles de la evolución de la vida con suficiente realismo como para que podamos emitir un juicio respecto a la estabilidad de la ley de Mendel. Podría ser que la ley de Mendel fuera un resultado muy poco esperado en este tipo de escenario. De ser el caso, quizás un día le quitaríamos la etiqueta de ley. De manera análoga a como vimos que podía llegarse a conclusiones respecto al Sistema Solar, podríamos comparar la estabilidad de la ley de Mendel en diferentes escenarios posibles de la evolución de la vida, y esto podría tener implicaciones muy interesantes en la medida que, por ejemplo, podría ser que los escenarios en los que la ley de Mendel es bastante estable son también escenarios

en los que otras generalizaciones tienden a ser estables. Esto podría tener implicaciones muy importantes para nuestro entendimiento de la vida sobre el planeta. Pero no sería un entendimiento que provendría de la derivación de leyes. El entendimiento provendría de situaciones posibles construidas en sistemas tecnológicos que apuntan a predicciones convergentes. Por supuesto esto requeriría la aceptación de un estándar respecto a lo que se considera un sistema estable. Esto es un proceso en el que, como en el caso del desarrollo de una explicación de la estabilidad del Sistema Solar, están involucrados muchos tipos de recursos explicativos de manera esencial. Siendo esto así, la contingencia no puede representarse como teniendo lugar a lo largo de un eje. Por lo que estaría en desacuerdo con Mitchell en que “las diferencias entre las leyes de la física, las leyes de la biología, y las llamadas generalizaciones accidentales puedan representarse como diferencias en grados de estabilidad de las condiciones en las que las relaciones descritas dependen.” (p. 140.) La estructura de lo contingente no debe de confundirse con diferencias en el alcance de las leyes.

Más bien las diferencias tienen que ver con diferencias en los tipos de estabilidad que sustentan su poder explicativo. Como intento mostrar en la próxima sección, la manera que propongo de entender la integración de explicaciones es un aspecto crucial de cualquier propuesta que reconozca que el entendimiento que nos ofrece la ciencia va más allá del entendimiento que podemos asociar con sistematización de teorías.

### **Fenómenos y máquinas nomológicas: contingencia más allá de leyes**

Principio presentando los conceptos de fenómeno y máquina nomológica introducidos en la filosofía de la ciencia contemporánea por Ian Hacking y Nancy Cartwright respectivamente. Quiero hacer ver cómo este tipo de propuestas nos lleva a conclusiones convergentes con la propuesta aquí desarrollada respecto al papel de la estructura cualitativa de lo contingente en la generación de entendimiento. Un fenómeno para Hacking no es una regularidad de la experiencia que descubrimos. Un fenómeno es un suceso capaz de generar patrones causales que se consideran interesantes en el sentido de que tienen poder explicativo y/o predictivo. Un fenómeno no es algo que se descubre en la naturaleza, sino que se produce en un sistema tecnológico. Hacking sugiere el punto que estamos desarrollando en este trabajo, a saber, que la producción de fenómenos en sistemas tecnológicos (laboratorios dice Hacking) es un tipo de conocimiento diferente del tipo de conocimiento que obtenemos a través de la explicación por leyes. Un fenómeno nos permite explicar un proceso sin necesidad de sustentar la explicación (exclusivamente) en regularidades de la experiencia<sup>29</sup>. Para Hacking (1983) la creación de fenómenos es una de las tareas distintivas de las tradiciones experimentales. Los fenómenos marcan los límites de las teorías, en el sentido que los modelos de las teorías no pueden explicar más allá de los fenómenos. Los fenómenos son públicos, regulares, muchas veces se caracterizan como leyes, pero tal vez son excepcionales. Un *efecto* en la

Física es un ejemplo paradigmático de fenómeno. El efecto magneto-óptico, el efecto Zeeman, el efecto fotoeléctrico son ejemplos de fenómenos. Los efectos, como muchas veces sucede con los fenómenos, no existen fuera de cierto tipo de aparatos. La idea de fenómeno de Hacking puede (y creo que debe) relacionarse con el tipo de entendimiento que desarrollo en este trabajo. Un fenómeno genera entendimiento que no proviene de una derivación a partir de leyes. Hacking es claro en esto: “*En la naturaleza existe sólo la complejidad, la cual tenemos gran capacidad de analizar. Lo hacemos distinguiendo en la mente leyes diferentes. También lo hacemos presentando en el laboratorio, fenómenos puros, aisladlos*”. (p. 226.) Es pues claro que un fenómeno es una representación de estructuras contingentes con capacidad de sustentar explicaciones.

Creo que una manera de elaborar y apuntalar esta sugerencia de Hacking es precisamente haciendo ver la importancia que tienen las diferentes maneras de representar contingencia como recurso explicativo. Con representación no me refiero aquí simplemente a representación lingüística. Un fenómeno es también una representación, o si se quiere, una presentación como lo pone Hacking (en la cita anterior). Es una (re)presentación valiosa, con capacidad de generar entendimiento a través de su integración en explicaciones de muy diverso tipo. Un fenómeno puede ser algo más complejo que lo que Hacking sugiere, y no tiene por qué pensarse como un tipo de representación importante sólo en la Física. La existencia de un fenómeno no tiene que verse simplemente como un efecto, puede ser algo mucho más construido a través de la historia de la ciencia. El Sistema Solar es un fenómeno. Este no es un fenómeno de laboratorio, pero sí es un fenómeno que se presenta en el contexto de un sistema tecnológico muy complejo al que nos hemos referido con anterioridad. Es algo que tiene la capacidad de explicar muchos sucesos y que permite la integración de muchos conceptos, teorías y métodos de muchas disciplinas. Como vimos antes, no es para nada trivial el sentido de que el Sistema Solar es un fenómeno estable. Involucra una larga historia de recursos destinados a entender un aspecto muy importante de nuestro mundo. Es en este sentido que prefiero hablar de fenómenos como relativos a sistemas tecnológicos, y no simplemente a aparatos<sup>30</sup>. Un sistema tecnológico no es, más claramente que un aparato, no simplemente un ordenamiento de partes materiales. Un sistema tecnológico involucra, además de partes materiales-tecnológicas, normas, estándares, valores, fines, aparatos, técnicas y muchos otros recursos que son parte de todo un sistema de recursos dentro de los cuales se genera y mantiene la estabilidad que permite la creación y estabilización de fenómenos, y su posible posterior uso en aplicaciones tecnológicas. El concepto de máquina nomológica apunta en la misma dirección, si bien su énfasis está en el tipo de circunstancias que nos permiten sustentar explicaciones en leyes no universales.

Nancy Cartwright nos dice claramente en 1999 que sus ideas son una respuesta a la interpretación tradicional del progreso científico en términos de reducción entre teorías. Su propuesta pretende ser una alternativa a la idea de que la filosofía de la ciencia debe de centrarse en entender nuestras representaciones científicas más avanzadas. Por el contrario, nos dice Cartwright “*Me dirijo a las afirmaciones de la ciencia, a los*



*posibles efectos de la ciencia como un cuerpo de conocimiento con la intención de ver lo que podemos lograr con este conocimiento.*” Es a este tipo de conocimiento orientado por valores y abierto en el sentido que los aspectos contingentes del mundo que incluyen nuestros valores y expectativas entran a formar parte de lo que consideramos digno de atención, a lo que llamo entendimiento. Creo que el mundo es parchado, como dice Cartwright, pero es un parchado que tiene muchos traslapes y refuerzos en ciertos puntos, y que esas áreas con refuerzo deben de coincidir con nuestras expectativas de lo que puede darnos el conocimiento. La mayor parte de las cosas no están sujetas a leyes, pero en la medida que la ciencia consiste de todos los recursos que potencialmente pueden integrarse en explicaciones y narrativas que promuevan y nos ayuden a hacer coherentes nuestros valores con objetivos y metas, es necesario buscar entendimiento, y ese entendimiento requiere la representación de nuestros valores en explicaciones y fenómenos, así como en normas y estándares. Sólo de esta manera pueden estos aspectos contingentes del mundo jugar un papel en nuestras deliberaciones sobre lo que vale la pena resaltar como conocimiento. Nancy Cartwright piensa que el conocimiento científico no puede reducirse a conocimiento de leyes, que buena parte de ese conocimiento es lo que ella llama *naturalezas*. Estas naturalezas son lo que nos permite construir las máquinas nomológicas y sólo posteriormente tienen como resultado la generación de nuevas leyes. Estoy de acuerdo con Cartwright que la generación de leyes no puede entenderse como un resultado directo de la indagación racional del mundo de nuestra experiencia, pero creo que independientemente de si ese estadio previo epistemológicamente se caracteriza como naturalezas o no, el papel de las representaciones de lo contingente que juegan un papel en la ciencia va más allá de su papel en las explicaciones causales. Estoy de acuerdo con Cartwright que nuestras creencias acerca del mundo van de la mano de las metodologías que adoptamos para estudiarlo. Pero también nuestras metodologías no pueden verse como desprovistas de capacidad de (re)representación, y por lo tanto, juegan un papel en la manera como integramos nuestras explicaciones para avanzar nuestro entendimiento del mundo.

La integración de nuestras explicaciones es la manera más sistemática (pero no la única) en la que diferentes niveles, y diferentes tipos de conocimiento, métodos, y estructuras heurísticas de diferentes disciplinas buscan orientarse respecto a la manera como la ciencia como un todo puede ayudarnos a implementar lo que Nancy Cartwright llama “tecnologías para la vida” (1999, p.18).

El sentido en el que Cartwright dice que el concepto de “interferencia” en la mecánica cuántica no es expresable en término de leyes es un buen ejemplo de cómo aspectos contingentes del mundo sustentan explicaciones sin que se requiera su representación en leyes. Lo que se requiere es la estabilización de las circunstancias que permiten la producción confiable de fenómenos (o máquinas nomológicas), y esto a su vez requiere de la incorporación de esas circunstancias como parte de sistemas tecnológicos. Este es el caso de la generalización sobre las posibles configuraciones del Sistema Solar, que nos llevan a esperar su estabilidad por varios millones de años en el pasado y en el futuro. La confiabilidad de la explicación proviene de la confiabilidad de muchos métodos,

tecnologías, teorías, etc., que usualmente se integran en el contexto de sistemas tecnológicos a través de su participación en explicaciones o predicciones.

Es importante recalcar que el mero desarrollo de métodos para la representación gráfica de la solución de ecuaciones diferenciales, así como de programas y conceptos computacionales no entran a formar parte del avance de la ciencia a menos que entren a formar parte de explicaciones y predicciones que permite su contrastación y uso en la producción de fenómenos estables. En todo caso, creo que lo dicho anteriormente deja claro que es más apropiado decir, por ejemplo, que la confiabilidad de nuestra explicación de la estabilidad del Sistema Solar proviene de la integración de resultados de muchas disciplinas en un sistema tecnológico con capacidad de predicción y explicación, que del descubrimiento de leyes a partir de las cuales podemos derivar esa estabilidad.

La manera como Peterson describe una fase importante de la construcción del sistema tecnológico en cuyo contexto se produce la explicación de la estabilidad del Sistema Solar me parece que es muy apropiada para ver esa estabilidad como parte de una máquina nomológica:

Como un hábil mecánico (Gauss), sistemáticamente desarmó la pesada máquina que había sido por largo tiempo utilizada para determinar las órbitas aproximadas y la reconstruyó como una máquina eficiente y ligera que podía funcionar de manera razonablemente confiable dada cierta información mínima. (Peterson 1993, p. 176.)

## Conclusiones

El tema del papel de la contingencia en las explicaciones científicas ha sido examinado con atención por los filósofos de la ciencia desde muy diferentes perspectivas, y con objetivos muy diferentes en mente. Whewell y Boutroux, entre muchos otros pensadores del siglo XIX, hicieron ver que el reconocimiento de la contingencia de las leyes tenía implicaciones para mostrar los límites del entendimiento científico. La introducción del concepto de probabilidad objetiva en el siglo XIX y posteriormente de teorías indeterministas en la Física generó importantes discusiones en la Física respecto a la naturaleza de lo contingente, y la manera como una explicación por leyes puede capturar los recursos explicativos de la estructura de lo contingente. La introducción de teorías sobre el caos y la complejidad han generado nuevos recursos conceptuales para describir la estructura de lo contingente en muchas ciencias. De manera independiente en la filosofía de la Biología ha tenido lugar una discusión sobre la diferencia entre la Física y la Biología sobre el papel de las leyes y la contingencia en las explicaciones. Por otra parte, en la filosofía de la ciencia contemporánea hay una discusión sobre los límites de la explicación por leyes pero que usualmente no se formula de una forma que explícitamente tiene que ver con la discusión en filosofía de la Física y en filosofía de la Biología. Como hemos visto, una filosofía de la ciencia que toma en serio conceptos como fenómeno o máquina nomológica, y que más en

general reconoce los límites del entendimiento que podemos lograr a través de una reflexión sobre la estructura conceptual de nuestras mejores teorías, tiene implicaciones importantes para las discusiones anteriores. El concepto de fenómeno y máquina nomológica apuntan a maneras de representar lo contingente que no se reducen a leyes, ni tienen por qué ser entendidos por el lugar que ocupan en una teoría formal.

En este trabajo he tratado de esbozar una propuesta acerca de cómo podemos ver relacionadas esas discusiones. En primer lugar, retomo la importancia de la discusión en el siglo XIX respecto a las limitaciones en el entendimiento científico a las que apunta la estructura de lo contingente. Una vez que se reconoce que la estructura de lo contingente no tiene que formularse en término de límites en el alcance de las leyes, entonces es claro que el problema de fondo es cómo representar y utilizar como recurso explicativo esa estructura de lo contingente. He dado ejemplos de cómo la estructura de lo contingente puede articularse en explicaciones que no son explicaciones por leyes. Las representaciones de lo contingente de carácter cualitativo son particularmente ilustrativas en este respecto. Si es la representación de aspectos cualitativos de la experiencia, lo distintivo de las representaciones que no pueden reducirse a leyes va a depender de sutilezas respecto a cómo entendamos lo que es una ley. Pero el punto que quiero hacer en este trabajo no depende de esas sutilezas, como lo muestran los ejemplos que he dado de explicaciones sin leyes.

En resumen, he tratado de mostrar cómo la estructura de lo contingente que no se representa como leyes, o dependiente de la estructura de las leyes (como es el caso con condiciones iniciales), juega un papel muy importante en la generación de entendimiento a través de su integración en explicaciones. Estas explicaciones muchas veces se basan en la contrastación de diferentes predicciones que apuntan a la estabilidad de un cierto fenómeno. Esto sugiere algo que tiene que ser explorado más a fondo, a saber, que la relación entre predicción y explicación en la ciencia se da en el contexto de sistemas tecnológicos, y que la integración de explicaciones no se da al margen de la integración de predicciones cualitativas que están asociadas con el tipo de generalidad que he llamado “constitutiva”. Un tipo de generalidad que juega un papel muy importante en la caracterización de la estructura conceptual a partir de la cual formulamos las leyes.

Esta robustez involucra muchos recursos heterogéneos, entre los cuales se incluyen métodos, diagramas, gráficas y, por supuesto, argumentos deductivos, pero generalmente se tiende a perder de vista la importancia de esta discusión para temas tan centrales en la filosofía como qué es una explicación y cómo podemos caracterizar el avance o progreso de la ciencia.

## Notas

<sup>1</sup> Véase Newton-Smith 2000.

<sup>2</sup> Una idea muy importante de entendimiento se ha formulado desde Aristóteles por lo menos en términos de teleología. Entender es situar respecto de un todo. Esta caracterización es teleológica en un sentido

sobre el que hay discusiones interesantes. El todo orienta nuestra indagación racional y nos permite distinguir entre verdades relevantes y no relevantes, dependiendo de si podemos situarlas respecto a ese todo. El entendimiento sería el conocimiento de cómo las partes se integran en el todo. Una de las maneras más interesantes de articular esta idea es interpretando esta teleología como una causa formal en el sentido de Aristóteles, y por lo tanto relativizar la noción de “todo”. La propuesta que elaboro en este trabajo puede verse como una versión de este tipo de propuesta, pero no voy a tratar en este trabajo de mostrar esta conexión. Para sugerencias en esta dirección véase McLaughlin (1990) y Martínez (2003). Desde esta perspectiva una epistemología del entendimiento busca reinterpretar esa dimensión teleológica-formal del conocimiento de manera naturalista.

- <sup>3</sup> Nótese que el tipo de entendimiento que dan las explicaciones acepta grados. Un maestro acepta, y le puede parecer un gran logro, una prueba de un teorema por un estudiante en los primeros años. Si un estudiante de postgrado en matemáticas diera la misma prueba podría parecer reprochable. Si un fisiólogo explica la función de algo a un lego puede hacerlo de una manera que en el contexto de un artículo de investigación sea reprochable. El reconocimiento de que el entendimiento que nos dan las explicaciones acepta grados sugiere que las explicaciones contribuyen al avance de la ciencia en la medida que entran a formar parte de un contexto explicativo más o menos amplio, que no tiene por qué ser único o excluyente. Las explicaciones pueden jugar un papel en el avance del conocimiento en diferentes contextos. Esto apunta a una diferencia importante entre dos maneras de concebir el avance de la ciencia y la noción asociada de “entendimiento”. Adelante voy a distinguir entre “entendimiento local” y “entendimiento global”. Quizás más apropiado sería utilizar la metáfora de Nancy Cartwright y hablar de parches (“*dappled*”) de entendimiento en contraposición a una visión “fundamentalista” de lo que constituye entender. Ambas propuestas terminológicas tienen problemas, pero mientras encuentre una mejor manera de hacer la distinción usaré la distinción entre entendimiento “local” y “global”.
- <sup>4</sup> Se puede tratar de dar cuenta de todas las explicaciones funcionales como un caso especial de explicaciones causales, pero este es un tipo de proyecto que (tal y como se entiende usualmente) más que integración busca la unificación formal de las explicaciones científicas a través de un modelo reduccionista.
- <sup>5</sup> Peter McLaughlin (2001) y A. G. Wouters (1999).
- <sup>6</sup> Esta otra manera de explicar lleva a lo que Batterman llama “Explicaciones asintóticas”. Véase Batterman 2002. Para mí no es importante la discusión respecto a exactamente cómo debemos caracterizar explicaciones como la del ejemplo, pero lo que digo aquí es congruente con la conclusión principal de Batterman, a saber, que el razonamiento asintótico es una parte muy importante del entendimiento científico.
- <sup>7</sup> El término contrastación no lo uso en el sentido que se usa el término en relación con la filosofía de Popper. Lo uso en el sentido en el que se dice que la observación de un cierto tipo de fenómeno en el microscopio requiere de un medio contrastante adecuado, o en el sentido en el que contrastar nos lleva a resaltar ciertos rasgos de un suceso (proceso o estructura).
- <sup>8</sup> Hay otra dimensión del tema de la integración de explicaciones que aunque no va a ser muy importante en lo que sigue es importante para entender el sentido de integración que tengo en mente. Los criterios de aceptación de una explicación varían en diferentes contextos. No sólo varían en diferentes contextos disciplinares, también varían dentro de una misma disciplina. La solución a un problema puede considerarse aceptable para un estudiante, o para un tipo de problema, pero no en otro contexto o tipo de problema. La explicación evolucionista de un rasgo puede ser aceptable en un contexto y no en otro. La explicación de por qué tuvo lugar un accidente de aviación puede ser aceptable en el contexto de una noticia en los periódicos, pero no para una compañía de seguros, y puede ser aceptable para

una compañía de seguros pero no para los diseñadores del avión. Así, centrarnos en elaborar el tipo de entendimiento que nos dan las explicaciones requiere no sólo ponerle atención a aspectos cualitativos de la experiencia, requiere también ser sensibles a la manera como la explicación varía desde diferentes perspectivas normativas (disciplinarias, por ejemplo) y como estas diferentes perspectivas se integran en entendimiento. Muchas veces estas perspectivas normativas se integran a través de esquemas narrativo-explicativos amplios que sirven de marco a varios tipos de explicaciones provenientes de diferentes prácticas.

- <sup>9</sup> Esto puede pero no tiene que estar asociado con un proyecto fundacionista-reduccionista, como lo mencionamos cuando dimos el ejemplo de posibles maneras de entender los diferentes tipos de explicaciones funcionales que surgen en la Biología, las ciencias cognitivas y las ciencias sociales.
- <sup>10</sup> Este es un tema que se trata en el libro con Edna Suárez (Martínez y Suárez 2006).
- <sup>11</sup> La cita proviene de “The spirit of the Age”, de John Stuart Mill, en J. M. Robson *et al.*, eds., *The Collected Works of John Stuart Mill*, CH vols. Toronto, 1981-1991 CH, vol. 32, p. 228. Citado por L. Daston en “The Vertigo of Scientific Progress”, Preprint 21, MPIWG.
- <sup>12</sup> “Science and technology as sources of natural power”, por Lyon Playfair. Presidential Address to the British Association for the Advancement of Science, Aberdeen, 1885, en: *Victorian Science*, editado por George Basalla, W. Coleman y R. Kargon, Doubleday Anchor Books, 1970.
- <sup>13</sup> Un argumento en esta dirección se elabora en “The Vertigo of Scientific Progress”, de L. Daston, Preprint 21, MPIWG.
- <sup>14</sup> John Herschel, *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (edición facsimilar de la edición de 1830, Londres). Introducción por Arthur Fine, Chicago, 1987, p. 207.
- <sup>15</sup> Es claro que si se pone en tela de juicio la distinción entre leyes experimentales y leyes teóricas la estrategia de Herschel colapsa. Este manera de cuestionar la historiografía positivista, sin embargo, es más bien un logro del siglo xx, y es un tema al que sólo nos referiremos brevemente en la última sección de este trabajo como parte de un replanteamiento respecto a qué es una explicación por leyes.
- <sup>16</sup> Véase el artículo por Norton Wise y Crosbie Smith “Work and Waste...”, *Hist. Sci.* xxvii, 1989.
- <sup>17</sup> Este es el tercer volumen de los famosos tratados Bridgewater. La primera edición fue publicada en Londres en 1833. El título general para los tratados era “Sobre el poder, la sabiduría y la bondad de Dios, como se manifiesta en la creación”.
- <sup>18</sup> Darwin, y varios contemporáneos, vieron la pertinencia de la teoría de Darwin a esa discusión. El mismo Darwin sugiere una alternativa diferente a la dicotomía de la que parte Whewell. En *The Descent of Man*, por ejemplo, Darwin sugiere que hay diferentes procesos evolucionistas que son un producto contingente de la historia del mundo, que dan pie a diferentes tipos de explicaciones. En la medida que las explicaciones a las que se refiere Darwin no utilizan el tipo de leyes que Whewell piensa distinguen a las ciencias naturales Whewell, sin embargo, podía ignorar este tipo de argumento. Como veremos, el hecho que en la física contemporánea se utilicen explicaciones que no recurren a leyes universales, es un serio revés al razonamiento de Whewell.
- <sup>19</sup> Las referencias a Boutroux provienen de la traducción al inglés de Fred Rothwell: *The Contingency of the Laws of Nature*, E. Boutroux 1920, Chicago.
- <sup>20</sup> Boutroux 1920, p.172.
- <sup>21</sup> p. 413 de, 1965.

- <sup>22</sup> Esto no puede verse como una crítica a Hempel en la medida que esta noción de entendimiento para él estaría fuera del interés de la filosofía de la ciencia.
- <sup>23</sup> El espacio-tiempo sirve de marco de referencia para tal individuación. Este es un ejemplo de cómo utilizar lo que llamamos generalidad de fondo en la sección anterior para individualizar sucesos.
- <sup>24</sup> En 1990 Salmon sugiere que las explicaciones promueven un ideal de entendimiento global: “Entender... involucra ver cómo varios aspectos del mundo y de nuestra experiencia de ese mundo encajan en una visión científica del mundo (*Scientific Weltanschauung*)”. Pero esto está relacionado con el hecho que en 1990 Salmon sugiere que las explicaciones científicas son algo más que el tipo de explicaciones causales que desarrolla en 1983. La idea de Salmon en 1990 es que el entendimiento científico es “después de todo algo muy complejo; hay razones para pensar que tiene diferentes facetas” (p. 183, 1990), y lo que parece estar sugiriendo es que la integración de esas facetas constituiría una noción global de entendimiento. Salmon, sin embargo, no desarrolla este tipo de ideas posteriormente.
- <sup>25</sup> Razonamiento heterogéneo es el tipo de razonamiento que aprovecha la estructura del ambiente en el razonamiento. Un diagrama es un ejemplo de este tipo de estructura. Si queremos describir el diagrama en término de oraciones que corresponden a hechos en el diagrama, podríamos requerir una cantidad excesivamente grande de oraciones para hacerlo. Véase por ejemplo Bairwise Jon, y John Echemendy: “Visual Information and Valid Reasoning” *Visualization in Mathematics*. IN *Philosophy and the Computer*. Ed. Leslie Burkholder. San Francisco: Westview, 1992. 160-182.
- <sup>26</sup> Por supuesto que esta objeción, y la posición de Kitcher tienen que ver con la discusión central en epistemología respecto a si una habilidad práctica —por ejemplo la habilidad de detectar una nueva especie de mosquitos— podemos representarla en término de un conjunto de condiciones que hacen que la habilidad se manifieste, condiciones que serían las apropiadas para la observación de mosquitos. Kitcher piensa que este tipo de representación es posible (véase Kitcher 1994), yo pienso que no (véase Martínez 2003, sección 1.3).
- <sup>27</sup> Estas órbitas posibles no incluyen cualquier tipo de órbita posible, sino sólo aquellas que una cierta norma o estándar considera aceptables. Esta norma juega el papel de sancionar inferencias de la misma manera que lo hacen las leyes en explicaciones por leyes. En este sentido esta norma puede verse como una generalización del concepto de ley.
- <sup>28</sup> Para un panorama de esta historia véase, por ejemplo, *Newton's Clock: Chaos in the Solar System*, de Ivars Peterson, Nueva York 1993.
- <sup>29</sup> Hacking 1983, p. 221: Un fenómeno es comúnmente un evento o un proceso de un cierto tipo, que ocurre regularmente bajo circunstancias definidas. *La palabra también puede denotar un evento único que destacamos como particularmente importante*. Cuando conocemos la regularidad exhibida en un fenómeno la expresamos en una regularidad en forma de ley. El hecho mismo de su regularidad es a veces llamado el fenómeno. (cursivas de S. M.).
- <sup>30</sup> Esta idea la desarrollo en Martínez 2003.

## Referencias

ALLWEIN, GERARD Y JON BARWISE, (EDS.), 1996, *Logical Reasoning and Diagrams*, Nueva York: Oxford University Press.

BARWISE, JON Y JOHN ETCHEMENDY, "Visual Information and Valid Reasoning", en: W. ZIMMERMAN Y S. CUNNINGHAM (EDS.), 1990. Reimpreso en Leslie Burkholder, ed., 1992; y en Gerard Allwein y Jon Barwise, eds. 1996.

BASALLA, GEORGE, W. COLEMAN Y R. KARGON (EDS.), 1970, *Victorian Science*, Doubleday Anchor Books ed.

BATTERMAN, ROBERT W., 2002, *The Devil in the Details: Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction, and Emergence*, Oxford: Oxford University Press.

BOUTROUX, EMILE, 1920, *The Contingency of the Laws of Nature*, authorised tr. por FRED ROTHWELL, Chicago: Open Court.

BURKHOLDER, LESLIE, ED., 1992, *Philosophy and the Computer*, Boulder: Westview Press.

CARTWRIGHT, NANCY, 1999, *The Dappled World: a Study of the Boundaries of Science*, Cambridge: Cambridge University Press.

DARWIN, CHARLES, 1883, *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*, Nueva York: Appleton and Co.

DASTON, L. "The Vertigo of Scientific Progress", Preprint 21, MPIWG

HACKING, IAN, 1983, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge: Cambridge University Press.

HEMPEL, CARL GUSTAV, 1965, *Aspects of Scientific Explanation, and Other Essays in the Philosophy of Science*, Nueva York: Free.

HERSCHEL, JOHN, 1830, *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (edición facsimilar de la edición de 1830, Londres). Introducción por Arthur Fine, Chicago, 1987, p. 207.

KITCHER, PHILIP Y WESLEY C. SALMON EDS., 1989, *Scientific Explanation*, Minneapolis: University of Minnesota Press, Minnesota Studies in the Philosophy of Science; v. 13.

KITCHER, PHILIP, 2001, *El avance de la ciencia: ciencia sin leyenda, objetividad sin ilusiones*, México: Universidad Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Filosóficas.

KITCHER, PHILLIP, 1994, "Contrasting Conceptions of Social Epistemology", en: Schmitt 1994, pp. 111-134.

MARTÍNEZ, SERGIO F., 2003, *Geografía de las prácticas científicas: racionalidad, heurística y normatividad*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Filosóficas.

McLAUGHLIN, PETER, 1990, *Kant's Critique of Teleology in Biological Explanation: Antinomy and Teleology*, Lewiston: E. Mellen.

McLAUGHLIN, PETER, 2001, *What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems*, Cambridge: Cambridge University.

- MILL, JOHN STUART, 1831, "The spirit of the Age", en: J. M. ROBSON *et ál.*, EDS., (1981-1991).
- MITCHELL, SANDRA D., 2003, *Biological Complexity and Integrative Pluralism*, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- NEWTON-SMITH, W. H. (ED.), 2000, *A Companion to the Philosophy of Science*, Malden, Massachusetts: Blackwell.
- PETERSON, IVARS, 1993, *Newton's Clock: Chaos in the Solar System*, Nueva York: W. H. Freeman.
- PLAYFAIR, LYON, 1885, "Science and technology as sources of natural power", Presidential Address to the British Association for the Advancement of Science, Aberdeen, en: GEORGE BASALLA W. COLEMAN Y R. KARGON (EDS.), 1970.
- ROBSON, J. M., *et ál.*, EDS. (1981-1991), *The Collected Works of John Stuart Mill*, CH vols. Toronto, 1981-1991 CH, vol. 32.
- SALMON, WESLEY C., 1984, *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- SALMON, WESLEY C., 1990, *Four Decades of Scientific Explanation*, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- SCHEIBE, ERHARD, 1995, *Laws and Theories: Generality versus Coherence*, en: Friedel Weinert, 1995.
- SCHMITT FREDERICK (COMP.), 1994, *Socializing Epistemology*, Rowman and Littlefield, Londres.
- WEINERT, FRIEDEL, 1995, *Laws of nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions*, Berlin: W. Gruyter.
- WHEWELL, WILLIAM, 1874, *Astronomy and General Physics Considered with Reference to Natural Theology*, Londres, William Pickering.
- WISE, NORTON Y CROSBIE SMITH, 1989, "Work and Waste: Political Economy and Natural Philosophy in Nineteenth Century Britain", en: *History of Science* 27(1989), 263-301, 391-449; 28(1990), 221-61.
- WOUTERS, A. G., 1999, "Explanation Without a Cause", Utrecht: Zeno Institute of Philosophy.
- ZIMMERMAN, W. Y S. CUNNINGHAM (EDS.), 1990, *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*, Washington: Mathematical Association of America.