
CLAUDE BERNARD Y EL LUGAR DE LA FISIOLÓGÍA EN UN MUNDO FÍSICAMENTE DETERMINADO

GUSTAVO CAPONI

ABSTRACT. C. BERNARD AND THE PLACE OF PHYSIOLOGY
IN A PHYSICALLY DETERMINED WORLD

In the *Introduction to study of experimental medicine* we can find references to the role of laws in the causal explanations of physiology phenomena that seem to be anticipations of the *nomological-deductive model of explanation*. Even so, it is also possible to read these paragraphs from a perspective that link them to the theoretical options that Bernard was proposing and developing in his physiological research. He was reinforcing there his contestation to Vitalism inasmuch it was intrinsic to the program of experimental physiology. The existence of these physiological laws ensured that the experimental route was feasible for the new discipline, and its discovery showed the compatibility between the knowledge produced by physiology and the presuppositions of what today we would characterize as physicalist ontology.

KEY WORDS. Claude Bernard, causal explanation, inertia; Physicalism, Vitalism, physiological laws, physiology, experimental sciences.

PRESENTACIÓN

En la *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale* (Bernard, 1984[1865]) podemos encontrar algunas referencias al papel de las leyes en las explicaciones causales de la fisiología, que parecen anticipaciones, no del todo precisas, del *modelo nomológico deductivo de explicación* delineado por Popper (1962[1934], p. 57 y ss.) y Hempel (1979[1942], p. 234 y ss.) en el siglo veinte ¹. Aunque esa lectura no pueda ser desestimada (Caponi: 1997, p. 218; 2001, p. 382), también es posible leer dichos pasajes de la *Introduction* desde una perspectiva que vincule más inmediatamente esas afirmaciones de Claude Bernard con las opciones teóricas que él, efectiva y explícitamente, estaba proponiendo y desarrollando en sus investigaciones fisiológicas. Se puede considerar que allí Claude Bernard estaba reforzando la impugnación del *vitalismo* supuesta por el programa de la fisiología experimental.

Departamento de Filosofía, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. CNPq/
gustavoandrescaponi@gmail.com

Dicho programa exigía aceptar que los *cuerpos organizados* estaban desprovistos de cualquier espontaneidad que los hiciese refractarios al conocimiento y al control experimental: en ellos, al igual que en los fenómenos propios de los *cuerpos brutos*, la respuesta del sistema sometido a una intervención experimental debía ser siempre estrictamente proporcional a la magnitud y a la intensidad de dicha intervención. Lo que Bernard entendía por *ley* no era otra cosa que la expresión de esa proporcionalidad que podía ser descubierta midiendo la relación constante que existía entre la magnitud de la intervención experimental y la magnitud de la respuesta dada por el organismo. Que pudiesen descubrirse leyes fisiológicas así entendidas, ratificaba la legitimidad y la viabilidad de la vía experimental que Bernard proponía para la fisiología, y en la medida en que ese descubrimiento fuese considerado como el objetivo último de la investigación fisiológica, eso también aseguraba la suficiencia de dicha vía.

Cuando aludía a esas leyes, Bernard no estaba preocupado con la universalidad de los conocimientos fisiológicos (cf. Caponi: 2001, p. 382; 2014, p. 135), sino con su carácter experimental. Afirmar que esas leyes existían y que podían ser descubiertas era otra forma de decir que la fisiología podía y debía desarrollarse por la vía del experimento; sin aspirar a otra cosa que a ese conocimiento experimental que permitía el control de los fenómenos orgánicos. Además, la factibilidad de ese control también refrendaba la plena compatibilidad entre los conocimientos producidos por la fisiología y el compromiso con una ontología fisicalista dentro de la cual las *fuerzas vitales* no tenían ningún lugar. Aunque no se expresase en un lenguaje físico o químico, el conocimiento de la fisiología podía considerarse como legítimo conocimiento causal, puesto que sus explicaciones causales y sus éxitos experimentales confirmaban que los cuerpos organizados, al igual que los cuerpos brutos y en contra de toda presunción vitalista, sólo cambiaban de estado en la misma medida en que agentes exteriores a ellos los compelían a hacerlo.

LEYES DE LO VIVIENTE

En sus *Leçons sur les Phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Claude Bernard ² (1878) distingue dos tipos de factores que siempre habría que considerar, sin nunca confundir, en el estudio experimental de lo viviente³: [1] Las leyes prestablecidas que rigen la forma y el orden interno de los seres orgánicos, y [2] las condiciones físico-químicas determinadas que son necesarias a la aparición de los fenómenos que en ellos ocurren. No es a esas *leyes prestablecidas que rigen la forma y el orden interno de los seres orgánicos* que aquí quiero referirme, sino aludir a otras leyes que son pertinentes a las *condiciones necesarias para la aparición de los*

fenómenos biológicos; y que también fueron una y otra vez mencionadas por Bernard ⁴.

Las primeras leyes, esas que rigen la forma de los seres vivos, tenían que ver, según Bernard las entendía, con la morfogénesis de los seres vivos: una cuestión que evidentemente le resultaba muy difícil de tratar y sobre la que siempre volvía en sus escritos sin nunca poder llegar a ser muy claro ⁵. Eso condujo, incluso, a que muchos historiadores de la ciencia ensayasen, o sugiriesen, distintas tentativas de comprender a qué aludía Bernard cuando se refería a dichas leyes ⁶. Yo mismo lo he hecho ⁷, y creo el asunto puede dejarse un poco de lado, para enfocar el análisis en esas otras leyes que, según Bernard, regirían la aparición de los fenómenos biológicos.

Estas últimas leyes, cuya naturaleza Bernard consideraba poco problemática, tenían que ver con las condiciones físico-químicas necesarias para la efectiva ocurrencia de los fenómenos que se dan en los seres vivos. Se trata de leyes concernientes al orden de las *causas próximas*, que eran las únicas causas que debían interesarle al fisiólogo (Caponi, 2001, pp. 388-392): ellas daban a conocer el *cómo* de los fenómenos, nunca su irremediablemente ignoto *porqué* (Caponi: 2001, p. 389; 2012, p. 54). Éste yacía escondido en el orden incognoscible de las *causas primeras* ⁹, con el cual las otras leyes, las morfológicas, estaban —de algún modo— más inmediatamente vinculadas ¹⁰.

Para Bernard, (1984[1865], p. 106), el fisiólogo y el físico comparten un objetivo fundamental: “remitir a su causa próxima los fenómenos que ellos estudian”, y era a leyes del orden de las causas próximas que Bernard (1984[1865], p. 108) se refería cuando, con toda firmeza, aseveraba que:

La ley nos da la relación numérica del efecto con su causa; y ese es el fin en el que la ciencia se detiene. Una vez que tenemos la ley de un fenómeno, conocemos no solamente el determinismo absoluto de las condiciones de su existencia, sino que también tenemos las relaciones referentes a todas sus variaciones, de manera tal que podemos predecir las modificaciones de ese fenómeno en toda las circunstancias dadas.

Por eso, decía también Bernard (1984[1865], p. 185):

En las ciencias experimentales, la medida de los fenómenos es fundamental; porque es por la determinación cuantitativa de un efecto relativamente a una causa dada, que la ley de los fenómenos puede ser establecida. Si en Biología queremos llegar a conocer las leyes de la vida, es necesario no solamente observar y constatar los fenómenos vitales, sino también fijar numéricamente las relaciones de intensidad en las cuales ellos están relación los unos con los otros.

Según Bernard (1984[1865], p. 128), “sólo conocemos los fenómenos de la naturaleza por su relación con las causas que los producen”, y “la ley de

los fenómenos” no era “otra cosa que esa relación establecida numéricamente, de manera a hacer prever la relación de la causa con el efecto en todos los casos dados”. A una magnitud o intensidad de la causa, debe corresponderle una y sólo una magnitud o intensidad del efecto, y si eso no se verifica inmediatamente, debe inferirse que se están ignorando otros factores intervinientes que contribuyen a disminuir o a aumentar la magnitud, o intensidad, del efecto registrado (cf. Bernard, 1878, p. 18). Era a eso que Claude Bernard llamaba ‘determinismo’¹¹: algo de lo cual el experimentador jamás podía dudar¹².

Las leyes que vinculaban los fenómenos a sus causas próximas eran, en este sentido, la expresión más cabal de ese determinismo, y eran ellas las que possibilitaban la predicción de los fenómenos, además, en el caso de las ciencias experimentales, también nos permitían su control (Roll-Hansen, 1976, p. 75). La ley, decía Bernard (1984[1865], p. 128):

es esa relación establecida por la observación que permite al astrónomo prever los fenómenos celestes; y es esa misma relación, establecida por la observación y por la experiencia, que permite al físico, al químico, al fisiólogo, no solamente predecir los fenómenos de la naturaleza, sino también modificarlos a voluntad y con seguridad, siempre que no se aparten de las relaciones indicadas por la experiencia.

Ahí podemos ver, enunciado con claridad, el principal punto de ruptura entre Bernard y el vitalismo de Xavier Bichat¹³ (1994[1800], p. 123). Para éste, la fisiología no podía esperar demasiado del método experimental (Bichat, 1994[1798], p. 290), y debía desarrollarse, fundamentalmente, por la vía de la observación clínica (Grmek, 1999, pp. 148-9). La razón de ello estribaba en la distancia existente entre la constancia de las *leyes físicas* y la inestabilidad de la *fuerzas vitales* (Bichat, 1994[1800] p. 120): “Esa inestabilidad de las fuerzas vitales, esa facilidad que ellas tienen de variar a cada instante, disminuyendo o aumentando, imprimen a todos los fenómenos vitales un carácter de irregularidad que los distingue de los fenómenos físicos, caracterizados por su uniformidad” (Bichat, 1994[1800] p. 121).

Las fuerzas vitales, consideraba Bichat (1994[1800], p. 121), son: “permanentemente variables en su intensidad, su energía, su desarrollo, pasan a menudo con rapidez del último grado de postración al punto más alto de exaltación, se acumulan y se debilitan alternativamente en los órganos, y toman, bajo la influencias de menores causas, mil modificaciones diversas”. En cambio, las leyes físicas “son fijas, invariables, constantemente las mismas en todos los tiempos” y “son la fuente de una serie de fenómenos siempre uniformes” (Bichat, 1994[1800], p. 121). Para corroborar esa diferencia, Bichat (1994[1800], p. 121) pedía comparar “la facultad vital de sentir con la facultad física de atraer”. “La atracción —decía él— está

siempre en razón de la masa del cuerpo bruto en la que se la observa, mientras que la sensibilidad cambia sin cesar de proporción en la misma parte orgánica y en la misma masa de materia" (Bichat, 1994[1800], p. 121). Es decir:

Diferentemente de la regularidad que impera en los fenómenos físicos, todas las funciones vitales son susceptibles de múltiples variaciones. Ellas se apartan frecuentemente de su grado natural, escapando a toda suerte de cálculo; se harían necesarias tantas fórmulas cuantos casos se presentan. No se puede prever nada, nada se puede predecir, ni calcular, en esos fenómenos: lo único que tenemos al respecto de ellos son aproximaciones, y en general inciertas (Bichat, 1994[1801], pp. 231-2).

Por lo mismo, mientras la matematización era un objetivo perfectamente factible y legítimo para la física, ella podía resultar engañosa en el caso de la fisiología:

La invariabilidad de las leyes que rigen a los fenómenos físicos permite someter al cálculo todas las ciencias que los tienen como objetos, mientras que aplicadas a los actos de la vida, las matemáticas no pueden jamás ofrecer fórmulas generales. Calculamos la órbita de un cometa, la resistencia de un fluido que recorre un canal inerte, la velocidad de un proyectil, etc.; pero calcular, con Borelli, la fuerza de un músculo, con Keil la velocidad de la sangre, con Jurine, Lavoisier, etc., la cantidad de aire entrando en un pulmón, es asentar sobre arena movediza un edificio en sí mismo sólido, pero que se cae cuando falla su base.

Claude Bernard sólo podía oponerse a esa tesitura vitalista porque él también negaba aquello que consideraba definitorio del vitalismo ¹⁴: la postulación de una fuerza vital entendida como un agente causal específico que produce efectos en el orden de las causas próximas o segundas, sin someterse a la legalidad física ¹⁵. Por el contrario, se le resiste y subleva (Bichat, 1994[1800], p. 59). Bichat (1994[1800], p. 57) había dicho que "la vida es el conjunto de funciones que resisten a la muerte", y para él morir no era otra cosa que subordinarse al orden de lo inerte, el orden físico. Por eso, para evitar esa subordinación, era preciso que los seres vivos estuviesen animados por una fuerza que, aun siendo natural (Lemoine, 1864, p. 13), fuese distinta de las fuerzas físicas y les permitiese resistir a éstas. Los seres vivos, lo decía claramente Bichat (1994[1800], p. 58): "sucumbirían si no poseyesen un principio permanente de reacción" y "ese principio es el de la vida, cuya naturaleza es desconocida, pudiéndose ser apreciado sólo por sus manifestaciones".

LA INERCIA DEL VIVIENTE

Sin la fuerza vital, sin la vida entendida como agente causal y no como efecto o resultado, los fenómenos biológicos seguirían mansamente la dirección impuesta por los agentes de su entorno. La sequedad del ambiente los deshidrataría irremediablemente, y su temperatura siempre se equipararía con la de los *medios circundantes*. Más aún, la intensidad de esos procesos de deshidratación y de incremento o pérdida de temperatura sería siempre estrictamente proporcional a la de las condiciones imperantes en esos medios. A cada grado de temperatura ganada o perdida en el entorno correspondería una cantidad siempre proporcional de temperatura ganada o perdida por el organismo. Que eso no fuese así, Bernard lo explicaba en virtud de mecanismos de regulación interna tendientes a mantener la del medio interno ¹⁶, en tanto que Bichat lo explicaba por la intervención de la fuerza vital.

Era ella la responsable de que las reacciones orgánicas nunca fuesen proporcionales a los estímulos que los afectaban, y eso es como decir que, por la mediación de esa fuerza, los seres vivos desobedecían al *principio de inercia*. La magnitud o la intensidad de la respuesta que ellos daban a los agentes causales que los afectaban no era proporcional a la magnitud o la intensidad de dichos agentes. Por el contrario, esa respuesta obedecía a ese factor interno que era la fuerza vital, y no a la perturbación advenida desde el entorno. Era ese principio el que hacía que la reacción del viviente no fuese pasible de predicción, no obstante el eventual conocimiento y la ponderación del factor que lo perturbaba. Ese principio, siempre voluble e inestable, actuaba espontáneamente sin ajustarse a ninguna regla o proporción definida.

En sus *Principios metafísicos de la ciencia natural*, Kant (1989[1786], p.135) había dicho que “la inercia de la materia no significa otra cosa que la *carencia de vida* como materia en sí misma”, y la *vida* no sería otra cosa que “la facultad de una *sustancia* de determinarse por sí misma para actuar a partir de un principio interno —de una *sustancia finita* que se determina a sí misma para el cambio— y de una *sustancia material* para determinarse a sí misma en el movimiento o en el reposo como cambio de su estado”. En este sentido, un cuerpo es inerte porque carece de cualquier capacidad de darse por movimiento por sí mismo, o de resistirse —sólo desde sí— a cualquier agente exterior que lo empuje a moverse, y esa capacidad sería la vida que Kant le niega a la materia en general y que Bichat le atribuye a los seres organizados en particular. Estos no son seres inertes, son, justamente, seres vivos.

Sería justo por esa vida, por esa capacidad de substraerse a cualquier proporción constante entre la intensidad de sus respuestas y la intensidad de los agentes que las suscitan, que esos seres se hurtarían no sólo a cualquier legalidad que pudiese permitir prever y calcular sus reacciones,

sino a cualquier experimentación que pudiese permitir conocer esa legalidad. Todo es parte de lo mismo; lo que no es inerte porque tiene vida y actúa espontáneamente, sin respetar ninguna proporción entre sus reacciones y aquello que lo afecta o deja de afectarlo, es imprevisible y difícilmente controlable. No hay ahí leyes como las de la física, que permitan calcular la reacción a partir de la acción, y como no hay proporción contante entre lo que afecta al viviente y su reacción o respuesta, tampoco hay ahí posibilidad de control experimental. Nunca descubriremos ninguna relación invariante entre nuestras intervenciones y el comportamiento del sistema intervenido. Lo que se substraerá a cualquier regularidad próxima de lo que Bernard entendía por 'ley' también escapa al conocimiento experimental.

Por eso, para legitimar el abordaje experimental de la fisiología, Bernard (1984[1865], p. 99; 1878 p. 26) precisaba negar esa supuesta espontaneidad del viviente. Precisaba suponer que "los fenómenos de la vida no son las manifestaciones espontáneas de un principio vital interior" (Bernard, 1878, p. 242). Dicha espontaneidad sólo podía ser una apariencia resultante de nuestra incapacidad para asir un *determinismo* demasiado complejo¹⁷ (Bernard, 1984[1865], p. 111; 1878, p. 19). Una vez superada esa dificultad, por la insistencia en la propia experimentación, la ley involucrada en cada fenómeno estudiado se rebelaría, y sabríamos cómo controlar las reacciones del viviente graduando la intensidad y la duración de las intervenciones sobre él. Si la mediación de una inasible fuerza vital estaba descartada, eso era perfectamente posible¹⁸, y el efectivo establecimiento de algunos invariantes fisiológicos y la obtención de diversos resultados experimentalmente reproducibles, ratificaba esa posibilidad.

Al contradecir explícitamente lo que Cuvier (1805, p. v) había dicho al respecto en la Carta a Mertrud, que prologaba las *Leçons d'Anatomie Comparée* (cf. Caponi, 2008, p. 29), Bernard (1984[1865], p. 100) había negado que la complejidad organizacional del ser vivo fuese un obstáculo infranqueable para el estudio experimental de los seres vivos. La fisiología, *malgré* Cuvier (1805, p. v-vi), no tenía por qué limitarse a lo que la anatomía comparada, o el conocimiento anatómo-clínico, pudiesen enseñarle (cf. Caponi, 2008, p. 30), sino todo lo contrario: su *via regia* hacia la verdad debía ser la experimentación. A ello tampoco se le opondría la pretendida espontaneidad de los fenómenos orgánicos aludida por los vitalistas. Por eso, Bernard (1984[1865], p. 120) también dirá que "en las ciencias biológicas como en las ciencias físico-químicas, el determinismo es posible porque en los cuerpos vivos como en los cuerpos brutos, la materia no puede tener ninguna espontaneidad¹⁹". Dicho con mayor claridad:

La materia viviente, al igual que la materia bruta, no puede darse actividad y movimiento por sí misma. Todo cambio en la materia supone la intervención

de una relación nueva, es decir, de una condición o de una influencia exterior. El papel del sabio es intentar definir y determinar para cada fenómeno las condiciones materiales que producen su manifestación. Una vez conocidas esas condiciones el experimentador deviene amo del fenómeno, en el sentido en que él puede darle o quitarle movimiento a la materia (Bernard, 1984[1865], p. 122).

Ahora bien, dado que —para Bernard (1984[1865], p. 107)— ‘determinar’ no puede significar otra cosa que el establecimiento de una relación invariante entre magnitudes tal que, registrada o producida cierta intensidad de la causa podamos calcular o producir cierta intensidad del efecto, entonces la postulación de esa inercia, o *ausencia de espontaneidad*, de la materia viva resulta, al mismo tiempo y como ya lo señalé, idéntica a la postulación de su subordinación a leyes y también idéntica a la postulación de su docilidad, o disponibilidad, para la experimentación (cf. Grmek, 1997 pp. 105-6). El viviente puede ser experimentalmente controlado porque su modo de comportarse se ajusta a regularidades contantes, y esto es así porque en él nada escapa a la inercia que también reina en el orden de los cuerpos brutos.

La negación del vitalismo, podríamos entonces también decir, implica el pleno encuadramiento de lo viviente en el marco de la legalidad física. Por lo menos, eso es lo que Bernard parecía querer indicar cuando, en el *Rapport sur les progrès et la marche de la Physiologie Générale en France* y en *De la Physiologie générale* decía que:

La materia viviente de los elementos orgánicos no tiene, por ella misma, ninguna espontaneidad; como la materia bruta, ella sólo reacciona bajo la influencia de agentes y de excitantes que le son exteriores. Los excitantes generales, aire, calor, luz, electricidad, etc. que provocan las manifestaciones de los fenómenos físico-químicos de la materia bruta, también suscitan de una manera paralela la actividad de los fenómenos propios de la materia viviente. De donde resulta que la Fisiología debe, para conocer la materia organizada, estudiar las condiciones físico-químicas de su actividad (Bernard: 1867, p. 134; 1872, p. 190).

Cosa que queda ratificada cuando, en una y otra obra, Bernard (1867, p. 134-5; 1872, p. 190) agrega que:

El error de los vitalistas fue creer que los fenómenos de los seres vivos no eran en nada semejantes, y hasta eran opuestos, por su naturaleza y por las leyes que los rigen, a aquellos que ocurren en los cuerpos brutos. Los fisiólogos físico-químicos o mecanicistas sostuvieron, por el contrario, y sobre ese punto tienen toda la razón, que las manifestaciones de los organismos vivientes no tienen nada de especial en su naturaleza, y que ellas entran todas en las leyes de la físico-química general.

Es esa misma idea que reaparecerá en las *Leçons de Physiologie Opératoire*, donde ahora podemos leer que: “La explicación de los fenómenos vivientes debe ser siempre remitida a leyes, a propiedades, a condiciones, a fenómenos físico-químicos. Solamente que esos fenómenos físico-químicos son de naturaleza especial. Ellos tienen instrumentos especiales, aunque entren en las leyes físico-químicas generales” (Bernard, 1879, p. xiii). Con todo, sobre ese asunto de las leyes físico-químicas subsisten algunas ambigüedades que Bernard no llega a despejar plenamente.

Queda claro, sí, que los fenómenos biológicos no sólo no están en contradicción o conflicto con la legalidad que rige los fenómenos inorgánicos, sino que ellos se pautan por esa misma legalidad; el rechazo del vitalismo por parte de Bernard siempre fue terminante. Lo que no llega a quedar del todo claro es si él afirma una plena identidad entre las leyes fisiológicas y las leyes físicas, o si supone que existen leyes específicamente fisiológicas. Si uno se pregunta si la explicación causal de un fenómeno biológico debe estar necesariamente estructurada con base en leyes físico-químicas, o si es legítimo construir explicaciones causales que supongan leyes específicamente fisiológicas, la respuesta que encontraremos en los textos de Bernard no llega a ser del todo nítida. Pero creo que eso se debe a un déficit de la exposición que el análisis puede permitirnos paliar.

LA NOCIÓN DE CAUSA PRÓXIMA

En la *Introduction*, Bernard (1984[1865], p. 109) afirma que “los fenómenos de la vida tienen leyes especiales justamente porque hay un determinismo riguroso en las diversas circunstancias que constituyen sus condiciones de existencia”. Eso parece no dejar dudas sobre la existencia de una legalidad específicamente biológica que sobredeterminaría a la legalidad física, aunque sin nunca derogarla (cf. Prochiantz, 1990, p. 51; Pichot, 1993, p. 705). Lejos de creer que la vida deba comprenderse en el horizonte de un determinismo más laxo que aquel que rige los fenómenos inorgánicos, Claude Bernard (1865, p. 653) nos hace pensar en un determinismo más complejo (cf. Bernard, 1984[1865] p. 114 y p. 136). Esa mayor complejidad puede ser entendida en virtud de esas otras leyes que se agregan a las físico-químicas en la determinación de los fenómenos vitales ²⁰.

Aun así, cuando se considera la forma que toma su rechazo del vitalismo, la cuestión deja de verse con tal claridad. Tanto en el *Rapport sur les progrès et la marche de la Physiologie Générale en France* (Bernard, 1867, p. 134), como en *De la Physiologie générale* (Bernard, 1872, p. 190), leemos que: “la cuestión importante que hay que decidir actualmente es la de saber si, una vez que la máquina orgánica está constituida ²¹, sus manifestaciones vitales, que derivan de las propiedades de la materia organizada, tienen leyes especiales, o si ellas entran en las mismas leyes que las manifestacio-

nes de las propiedades de la materia bruta”, y si nos remitimos a las citas de ambas obras que hice en la sección anterior, hay que concluir que Bernard se inclina por la segunda opción.

De hecho, aunque la cuestión no parezca inmediatamente vinculada con la que acabo de plantear, lo primero a tener en cuenta para despejar esa ambigüedad es algo que ya apunté en la presentación. Bernard habla de *leyes* sin preocuparse con el requisito de universalidad, ni tampoco con nada análogo al papel de unificación y sistematización teórica que los estructuralistas le atribuyen a los enunciados nómicos (cf. Diez, 2002, p. 75; Lorenzano, 2011, p. 70). Para Bernard (1984[1865], p. 185), una correlación como la que puede darse entre la producción de una hormona y una determinada reacción metabólica, podría ser considerada una ley, aun cuando ella sólo se cumpla en un taxón restringido. Lo mismo valdría para la relación entre actividad física y ritmo cardiaco. Bajo ese punto de vista, una vez que conocemos una correlación entre dos magnitudes x e y de forma tal que al controlar o graduar a x podamos determinar o graduar el valor de y , podemos decir que conocemos la ley que establece su vínculo causal.

En realidad, lo que a Bernard le importaba era eso que Woodward (2002, S370) denomina ‘invariancia’ (Psillos, 2002, p. 182-3; Caponi, 2014, pp. 90-4), es decir, los estados de una variable de control pueden ser considerados como causa de los estados una variable controlada, cuando entre dichos estados exista una relación mínimamente constante tal que pueda preverse, e incluso decidirse, la modificación que ocurrirá en la variable controlada en virtud de nuestro conocimiento de la modificación ocurrida, o introducida, en la variable de control²² (Woodward: 2003, pp. 14-5; 2010, pp. 291-2). Que Bernard haya denominado *ley* a esa relación no es, por otra parte, nada que deba asombrarnos; ese uso liberal, y un poco indiscriminado, del término ‘ley’ era algo bastante típico del siglo XIX.

Al igual que muchos otros científicos del siglo XIX, Bernard estaba muy lejos de las restricciones que Hempel y Popper le supieron imponer al uso de esa expresión. Piénsese, por ejemplo, en la cantidad de leyes que Haeckel (1947[1868]) enunció en su *Historia de la creación de los seres organizados según leyes naturales*, o en aquellas que Ameghino (1915[1884]) formuló en su *filogenia*. Bernard, me parece, le daba al término ‘ley’ un significado próximo al que nosotros le daríamos al término ‘conexión causal’; conocer una ley sería simplemente conocer cómo se da y cómo se cumple una conexión causal, y no mucho más que eso. Lo importante, sí, es que ese conocimiento esté matemáticamente expresado e indique cómo controlar el efecto por la manipulación de la causa.

Nótese, por otra parte, que con base en ese modo intervencionista, o experimental, de entender las imputaciones y explicaciones causales, tam-

bién se puede ensayar una delimitación más clara de lo que Bernard entendía por *causa inmediata* o *condición de existencia*. Propongo esta:

Dados dos fenómenos [o conjuntos de fenómenos] X e Y, se puede afirmar que el primero sea causa inmediata [o la condición de existencia] del segundo, en la medida en que aceptemos:

(I) Sendas descripciones de ambos fenómenos, o conjuntos de fenómenos, que los presenten como estados de dos conjuntos diferentes de variables [Vx y Vy, respectivamente].

(II) Un enunciado condicional que establezca una función constante pero asimétrica entre esas variables, tal que: (A) cada estado de Vy pueda ser considerado como resultante de un estado de Vx [pero no a la inversa]; y (B) el estado de Vx pueda alterarse o pueda ser manipulado independientemente de Vy, pero que los cambios que de ahí resultantes, incidan en los estados de Vy.

Sin embargo, para Claude Bernard también existiría un tercer requisito (III) que no puede ser obviado aquí: el carácter físico-químico de las variables en cuestión. “Eso que llamamos causa próxima de un fenómeno”, leemos en la *Introduction*: “no es nada más que la condición física y material de su manifestación” (Bernard, 1984[1865], p. 106). Las causas próximas bernardianas siempre son condiciones físico-químicas ²³ (Bernard, 1984[1865], p. 115 y p. 142) cuya manipulación, o producción experimental, nos permite producir o variar la intensidad de efectos ²⁴ que también son observables en tanto que fenómenos físico-químicos (Bernard, 1947 p. 264). Es decir, son registrables por instrumentos tales como termómetros, balanzas o reactivos ²⁵. Es esa vinculación de los fenómenos a sus condiciones físico-químicas lo que da soporte y garantía al determinismo ²⁶ (Bernard, 1984[1865], p. 111). Como dice Bernard (1984[1865], p. 101):

Hay un determinismo absoluto en todas las ciencias porque cada fenómeno, estando encadenado de una manera necesaria a condiciones físico químicas, el sabio [*savant*] puede modificarlas para dominar el fenómeno, es decir, para impedir o favorecer su manifestación. Nadie cuestiona eso en el caso de los cuerpos brutos. Yo quiero probar que ocurre lo mismo en los cuerpos vivientes.

Si esto último parece poner en entredicho la existencia de *leyes específicamente fisiológicas* que sean atinentes a las *condiciones de aparición* de los fenómenos biológicos, tampoco deja de ser cierto que, cuando se considera el funcionamiento de un organismo, tanto como cuando se considera el funcionamiento de una máquina, vemos que ahí se cumplen ciertos invariantes causales, en el sentido de Woodward, que, ni son leyes físicas o químicas (Caponi, 2014, p. 127), ni tampoco pueden ser consideradas como meros corolarios de tales leyes (Caponi, 2001, p. 386). Esos invariantes sólo

rigen en tales casos, porque tanto los componentes de la máquina, como los elementos del organismo, están dispuestos de una forma particular que tampoco es exigencia de ninguna ley física (Goodfield, 1987, p. 139; Caponi, 2001, p. 387).

En un simple depósito de agua que regula la entrada de líquido en función de la salida, por la mediación de un flotador que abre y cierra una válvula, se cumple un invariante causal que, además de permitirnos regular la recarga con sólo aumentar o disminuir la descarga, también nos habilita a explicar la magnitud de la recarga citando como causa a la magnitud de la descarga. Esa es una explicación causal impecable que, en sí misma, no supone ninguna ley física, aun cuando nada en ella implique cualquier cosa que vaya más allá de relaciones causales de carácter estrictamente físico que se ajustan a leyes como el principio de Arquímedes. Algo semejante ocurre con muchas explicaciones fisiológicas.

El crecimiento de los testículos de los patos que ocurre durante la primavera es un buen ejemplo de eso²⁷. Dicho crecimiento puede atribuirse al aumento de las secreciones de la hipófisis que resulta de la mayor cantidad de luz. Ésta estimula esas secreciones, y aquellas hacen que los testículos de los patos crezcan (Delsol & Perrin, 2000, pp. 88-90). He ahí una explicación que puede legitimarse recurriendo a una manipulación experimental. Si tapamos los ojos de algunos patos y eso impide el crecimiento de sus testículos, nuestra explicación causal quedará reforzada, aun cuando allí no se alcance a individualizar cuál sería la ley, o el conjunto de leyes, de carácter físico-químico que, en el nivel molecular, hace que ese invariante causal se cumpla. Ahora bien, si a la manera de Bernard, definimos ley como la simple expresión numérica de la relación entre la magnitud de la causa y la magnitud del efecto, y constatamos que, en esos patos, existe una proporción constante entre la estimulación lumínica y volumen de los testículos, entonces tendremos que decir que hemos descubierto una ley, y que el aumento de la estimulación lumínica es la causa próxima del crecimiento de los testículos de los patos.

En otras palabras, tanto aquí como en el caso del funcionamiento del depósito de agua no se supone ninguna ley físico-química de la cual el vínculo causal apuntado sea una instancia (cf. Nagel, 1998, p. 212; Caponi, 2001, p. 387), y es la posibilidad de control experimental la que nos lleva a aceptar que ese vínculo existe. No hay una ley física que vincule aumento de luz y aumento en el tamaño de los testículos de los patos, aunque pueden existir, en todo caso, leyes causales de naturaleza físico-química que expliquen cada uno de los eslabones del mecanismo (Bertalanffy, 1974, p. 92; Caponi, 2014, p. 127), pero no es el conocimiento de dichas leyes lo que justifica la imputación causal “en condiciones normales, la luz solar aumenta el volumen de los testículos de estos patos”. Lo que la justifica es la posibilidad de usar esa regularidad como receta para manipular el

crecimiento de esos órganos en dichos animales, y es el carácter cuantitativo de esa regularidad que, atendiendo al uso que Bernard (1984[1865], p. 148) hace del término, nos permite hablar de una modesta y acotada ley fisiológica²⁸.

Aunque la posible enunciación matemática de esos invariantes fisiológicos nos habilite a que los llamemos *leyes*, en el sentido bernardiano de la palabra, todavía hay que discutir si ellos satisfacen el requisito de aludir a condiciones físico-químicas que puedan revistar como genuinas causas próximas. Esas supuestas leyes fisiológicas no sólo aluden a cambios ocurridos en propiedades físicas o químicas, sino que también aluden, parcial o exclusivamente, a cambios ocurridos en propiedades vitales, considerándolos como causas de los fenómenos que se quiere explicar; y la idea de que las causas próximas son siempre causas de carácter físico-químico podría llevarnos a cuestionar esa pretensión de las leyes fisiológicas y pensar que ellas podrían no ser genuinas leyes causales. Cabría pensar que ellas sólo establecen correlaciones entre dichos cambios, que aun permitiendo prever su secuencia, no llegan a mostrarnos verdaderas conexiones causales que nos habiliten a un genuino control experimental de los fenómenos.

Creo, sin embargo, que Bernard había entrevisto la posibilidad de ese cuestionamiento, y hasta podía aducir buenas razones para desestimarlo. La clave estaba en esa propiedad que los fisiólogos ya habían denominado *irritabilidad*. Bernard (1878, p. 243) le atribuye un doble papel: ella es la propiedad distintiva de la materia ya organizada, de la cual las otras propiedades vitales se derivan (Bernard, 1878, p. 249), además de que ella opera como mediador entre el orden físico-químico y el orden vital²⁹ (cf. Tirard, 2013, p. 60). A ese respecto, en *Leçons sur les propriétés des tissus vivants* podemos leer:

La materia, por sí misma, es inerte; incluso la materia viviente: ella debe considerarse como desprovista de toda espontaneidad. Pero esa materia viviente es irritable, y así ella puede entrar en actividad manifestando sus propiedades particulares, lo que sería imposible si ella estuviese desprovista tanto de espontaneidad como de irritabilidad. La irritabilidad es, por eso, la propiedad fundamental de la vida (Bernard, 1866, p.64).

IRRITACIONES Y EXCITACIONES

Sobre el mismo tema, en sus *Leçons sur les Phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*, Bernard (1878, p. 242) también afirmó que “la irritabilidad es la propiedad que posee todo elemento anatómico (es decir, el protoplasma que entra en su constitución) de ser puesto en actividad y de reaccionar de una cierta manera bajo la influencia de excitantes exteriores”, y en las propias *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, ya había

dicho que esa “aptitud a reaccionar fisiológicamente contra la influencia de las circunstancias exteriores” era una propiedad que no pertenecía “ni a las materias minerales, ni a las materias orgánicas” (Bernard, 1866, p. 63), sino que era “privilegio exclusivo de la materia organizada y viviente”. En efecto, “la propiedad de ser irritable” —Bernard (1866, p. 63)— distinguía “a la materia orgánica de aquella que no lo es” y, además, “entre las materias organizadas”, ella distinguía “a la que está viva de la que ya no lo está”. “La irritabilidad —remataba Bernard (1866, p. 63)— caracteriza a la vida”.

Es muy importante evitar creer que ahí haya cualquier insinuación de un retorno al vitalismo. Bernard no está afirmando que la materia de la cual están constituidos los seres vivos tenga, de por sí, una propiedad, llamada *irritabilidad*, que estaría ausente en la materia inorgánica. Bernard afirma que es en virtud de estar organizada *en los elementos anatómicos* que la materia de la que están hechos los seres vivos posee una forma de comportarse ante ciertos agentes externos que está ausente en la materia inorgánica. Esa propiedad también estaría ausente en el protoplasma de los seres vivos si éste no se encontrase fisiológicamente organizado. La irritabilidad resulta de la propia organización.

Dicho de otro modo, la irritabilidad es una propiedad de la materia ya organizada y viviente; ella no existe antes de que esa misma materia ya esté configurando tejidos y órganos, cumpliendo así funciones vitales (Bernard, 1878, p. 250). Por eso Bernard (1866, p. 63) subrayaba que los “elementos anatómicos vivientes” son “las únicas partes irritables del organismo”, y también insistía en que “todos los seres vivientes son [...] irritables por los elementos histológicos que ellos comprenden, y ellos pierden esa propiedad en el momento de la muerte”. Ideas estas que, al decir verdad, tampoco estaban ausentes en la *Introduction*.

Allí se podía leer que “los elementos anatómicos son las únicas partes organizadas y vivientes” (Bernard, 1984[1865], p. 120), y allí ya se nos decía también que “esas partes son irritables; y, bajo la influencia de diferentes excitantes, ellas manifiestan propiedades que caracterizan exclusivamente a los seres vivientes”. Tener eso en cuenta es crucial para discutir la posibilidad de reducir esa propiedad vital fundamental, que es la irritabilidad, a propiedades físico-químicas. Ello es así porque si hay una propiedad de los seres vivos que Bernard ciertamente consideraba como una propiedad vital aún no reducida a propiedades físico-químicas, esa era la irritabilidad. Aunque, vale aclararlo, el hecho de que esa reducción no hubiese sido ya alcanzada no significaba que ella no fuese posible, no para Claude Bernard, por lo menos.

Según él, a pesar de que al referirnos a los seres vivos distingamos tres tipos de propiedades, las físicas, las químicas y las vitales (Bernard, 1875 p. 152), en esta última categoría sólo se agrupan aquellas propiedades que

aún no hemos podido “reducir a propiedades físico-químicas ³⁰” (Bernard, 1984[1865a], p. 142). En última instancia, y de eso no podía haber ninguna duda, los elementos anatómicos como músculos, nervios y órganos eran irritables en virtud de la disposición u organización de los elementos físico-químicos que los componían, y sus reacciones obedecían a las relaciones causales que los estados de cada uno de esos elementos guardan con los estados de los demás elementos, y con los estados de los elementos físico-químicos del entorno circundante (Bernard, 1878, p. 252).

Por otra parte, y esto es tan importante como lo anterior, el hecho de que esa reducción no hubiese sido alcanzada, no significaba que la irritabilidad debiese ser considerada como una apariencia, o como un *efecto de superficie* sin mayor importancia. Para Bernard, la irritabilidad era una propiedad real; no importa que ella fuese resultado de combinaciones e interacciones de elementos más básicos. Al fin y al cabo una propiedad física como la flexibilidad también depende de propiedades físicas más básicas, y nadie dice que ella no sea real. Además, la realidad de la irritabilidad quedaba en evidencia por el simple hecho de que era imposible ignorarla a la hora de explicar los fenómenos fisiológicos. Ella aparecía como un elemento que revistaba en el orden de las causas y no en el orden de los efectos.

Prácticamente todas las reacciones fisiológicas la suponían, y el funcionamiento de todos los tejidos y sistemas orgánicos tenía que ser considerado en términos de reacciones o respuestas ante diferentes excitantes físicos (como luz, temperatura o simple presión mecánica) o químicos (como las más diversas sustancias), además, esas respuestas no podían ser entendidas si no se suponían diversas formas de irritabilidad, o *sensibilidad* ³¹, que hacían que ellas fuesen distintas de meras reacciones físicas o químicas. Para Bernard (1866, p. 84), como para cualquier fisiólogo, era obvio que la reacción de un tejido ante un excitante no era una simple reacción química, y también era obvio que cuando se presionaba la antena de un caracol, ésta respondía de una forma distinta al comportamiento que exhibiría una masa gelatinosa no organizada ante una presión mecánica semejante.

Eso era lo que ocurría con la mayor parte de las interacciones que los elementos anatómicos guardaban entre sí y con los agentes causales que afectaban al viviente desde su exterior. Piense, también, en la luz solar estimulando la secreción de una glándula de ciertos patos, cuya hormona, a su vez, acaba estimulando el crecimiento de los testículos de esos animales, lo que constituye toda una serie de excitaciones e irritaciones. Señalemos que además de mediar la mayor parte de las relaciones causales que el fisiólogo tenía como objeto de estudio, esa irritabilidad era también la condición de posibilidad de la mayoría de las manipulaciones experimentales que el fisiólogo ejecutaba en dicho estudio. En gran medida, esas

intervenciones consistían en excitaciones que redundaban en irritaciones de diversa índole. En ese sentido, el control experimental de los fenómenos vivientes podía ser descrito como la producción de las irritaciones procuradas en virtud de excitaciones debidamente elegidas y graduadas.

Bernard (1867, p. 134; 1872, p. 190) sabía que: “la fisiología sólo puede actuar sobre los fenómenos vitales por la intermediación de condiciones físico-químicas determinadas”. Por eso, lo entendía muy bien, la física y la química no sólo brindaban explicaciones de las que el fisiólogo podía valerse, sino que además le daban instrumentos que eran imprescindibles para la investigación de los fenómenos vitales³². Era eso lo que estaba en la base de aquella idea suya, subrayada por Grmek (1991a, p. 142), según la cual los venenos anestésicos eran genuinos *bisturios químicos*³³ (Ledesma Mateos, 2000, p. 354). A pesar de que entendía que las intervenciones experimentales sobre el viviente sólo podían ser física o químicamente ejecutadas, Bernard también sabía que para planearlas y entenderlas había que tener en cuenta esa propiedad ausente en los *cuerpos brutos* que era la irritabilidad.

Esas intervenciones siempre eran excitaciones físicas o químicas del viviente, tales como cambios de temperatura y descargas eléctricas, o el contacto con las más diversas sustancias. Ante ellas, la respuesta dada por el viviente también debía poder ser física o químicamente registrada por el recurso de instrumentos de observación y medición idénticos o análogos a los usados en física o en química. Éstos eran desde simples recipientes volumétricos, calibres para medir testículos, y termómetros (cf. Bordier, 1902), hasta parafernalia más moderna como después fueron los centrifugadores, calorímetros, y espectrofotómetros en la biología experimental del siglo XX (cf. Norman, 1971). Eso ratificaba que:

Los elementos histológicos reaccionan [...] por medio de propiedades vitales que guardan relaciones necesarias con las condiciones físico-químicas ambientales, y esa relación es tan íntima que puede decirse que intensidad de los fenómenos físico-químicos que ocurren en un ser vivo, pueden servir para medir la intensidad de los fenómenos vitales. Por eso [...] no es necesario postular un antagonismo entre los fenómenos vitales y los fenómenos físico-químicos, sino al contrario, constatar un paralelismo completo y necesario entre esos dos órdenes (Bernard, 1984[1865], p. 122).

Como ya dije, entre esos *inputs* físico-químicos, que son los excitantes, y esos *outputs* físico-químicamente registrables, que son las irritaciones, median pautas de reacción distintas de las que se cumplían en los cuerpos no organizados. Era allí que se insinuaban esas *leyes especiales*, propias de la fisiología, que establecen proporciones entre acción y reacción, que no son el corolario de ninguna ley física o química porque dependen de esa organización, de esa configuración y de esa urdimbre causal de compo-

nentes y factores físico-químicos; que hacen que los elementos anatómicos por ellos constituidos sean irritables en modos y grados diversos (cf. Bernard, 1866, p. 86). Los experimentos con anestésicos le habían confirmado todo eso a Claude Bernard (1878, p. 265): que la irritabilidad dependía de una infraestructura molecular aun no develada se ponía en evidencia en el hecho de que ella podía verse neutralizada por sustancias químicas específicas que alcanzaban esa infraestructura de una forma controlada.

LA FISIOLÓGÍA EN UN MUNDO FÍSICAMENTE DETERMINADO

Las leyes fisiológicas, podríamos decir, son leyes que establecen relaciones contantes entre excitación e irritación: a tal naturaleza y magnitud del factor excitante, dado o experimentalmente producido, tal naturaleza y magnitud de la irritación constatada u obtenida. Eso era crucial para Bernard, porque era esa constancia y regularidad la que mostraba que esos fenómenos se ajustaban al *principio de inercia* que regía en toda la naturaleza sin dejar ningún lugar a la espontaneidad imprevisible de cualquier fuerza vital. Eso, para decirlo de otro modo, daba un indicio de que las relaciones causales entre excitación e irritación estaban sometidas al orden de la causación físico-química. Bernard (1984[1865], p. 121) se encargo de resaltarlo:

Las partes vivientes tiene la facultad de ser irritables; es decir: de reaccionar, bajo la influencia de ciertos excitantes, de una manera especial que caracteriza a los tejidos vivientes; como es el caso de la contracción muscular, la trasmisión nerviosa, la secreción glandular, etc. Pero, cuales sean las variedades que presentan esos tres órdenes de fenómenos, que la naturaleza de la reacción sea de orden físico-químico o vital, ella no tiene nunca nada de espontáneo: el fenómeno es siempre el resultado de la influencia ejercida sobre el cuerpo que reacciona por un excitante físico-químico que le es exterior.

“En el medio cósmico —decía Bernard (1984[1865], p. 121)— todo cuerpo mineral es muy estable”, y sólo cambiará de estado si las circunstancias en las que se encuentra son modificadas de una manera bastante pronunciada, sea naturalmente, sea por una intervención experimental. Mientras tanto, consideraba que “en el medio orgánico, los principios inmediatos creados por los animales y por los vegetales son mucho más alterables y menos estables, pero aun son inertes y sólo manifiestan sus propiedades en la misma medida en que son influenciados por agentes localizados fuera de ellos” (Bernard, 1984[1865], p. 121). Aun así, también subrayaba en ese mismo pasaje que ³⁴:

los propios elementos anatómicos, que son los principios más alterables y más inestables, son también inertes: no entran nunca en actividad vital, si alguna influencia extraña no se los exige. Una fibra muscular, por ejemplo, posee la propiedad vital, que le es propia, de contraerse; pero esa fibra viviente es inerte en el sentido que, si nada cambia en las condiciones ambientales o interiores, ella no entrará en actividad y no se contraerá (Bernard (1984[1865], p. 121).

Cosa que también vale para cada órgano y para el organismo como un todo; al igual que ocurre con los cuerpos brutos, “cada uno de esos cuerpos es inerte: incapaz de darse movimiento por sí mismo” (Bernard, 1984[1865], p. 121). Por eso, “para ponerse en movimiento, ellos precisan [...] entrar en relación con otros cuerpos y recibir alguna excitación” (Bernard, 1984[1865], p.121). Dicho de otro modo, el protoplasma, en la medida en que se encuentra organizado, posee “las facultades de la irritabilidad y de la motilidad”, y por tal motivo puede “reaccionar y contraerse bajo la provocación de excitantes que le son exteriores”, sin por eso gozar “de cualquier facultad de iniciativa” (Bernard, 1878, p. 241). Nada se autoirrita o se autoexcita; en el sistema viviente nada se mueve si no hay una perturbación que advenga desde el entorno, y la respuesta siempre será estrictamente proporcional a la magnitud de esa perturbación.

Proporcionalidad que, como es obvio, también se cumple en el caso de las perturbaciones producidas en las manipulaciones experimentales del viviente. El fisiólogo experimentador excita los elementos orgánicos recurriendo a medios físico-químicos (Bernard, 1984[1865], pp. 128-9); medios cuya intensidad el gradúa y dosifica con base en aparatos de medición que también le son ofrecidos por la física y la química. La magnitud de la irritación producida en los elementos orgánicos estimulados, que también es registrada y medida por sus manifestaciones físico-químicas, y con base en instrumentos de observación y medición oriundos de la física y la química, siempre se muestra proporcional a la magnitud de esa excitación física o química: siempre se ajusta a leyes.

Así, aunque el fisiólogo describa y analice los circuitos causales por él estudiados en términos de propiedades vitales, tales como la irritabilidad u otras de que ellas se derivan, el hecho de que las leyes descubiertas establezcan una proporcionalidad estricta entre la magnitud físico-químicamente mensurada de su intervención excitante y la magnitud, también físico-químicamente mensurada, de la irritación generada, entonces, él podrá estar seguro de estar elucidando genuinas conexiones causales que son relativas al orden de las causas próximas, entendidas siempre como condiciones físico-químicas. Aun cuando no estén formuladas en el lenguaje de la física y la química, esas leyes estarán conectando manipulaciones inevitablemente físico-químicas con resultados que son de esa misma índole.

“El experimentador”, como Bernard (1865, p. 654) llegó a decir en la *Revue des deux mondes*, “puede más que lo sabe” (Gayon, 1996, p. 158). Él puede controlar una trama causal cuya urdimbre más fundamental todavía desconoce, y esa capacidad de control ya es conocimiento; aun cuando suponga la referencia a propiedades que no son las fundamentales. El fisiólogo experimental puede actuar sobre el orden de las causas próximas, al controlar los efectos de esa intervención, y puede hacerlo aun sin tener un conocimiento plenamente acabado de esos factores y conexiones que él está manipulando.

Claude Bernard no dudaba que el entramado causal del mundo, incluidos los fenómenos vitales, era de estricto carácter físico-químico, y era eso lo que garantizaba que el determinismo también se verificase en la fisiología. Claude Bernard también sabía que si se quería avanzar en el desarrollo del conocimiento fisiológico, había que reconocer y aludir a esas propiedades vitales aun no reducidas a las propiedades físico-químicas. Sabía además que las leyes causales específicas de los fenómenos biológicos así descubiertas, podrían expresarse con base en conceptos que, justamente por referirse a esas propiedades vitales, no eran los conceptos de la física y la química.

Ahora bien, en la medida en que esas leyes pudiesen ser verificadas en intervenciones experimentales que corroborasen la inercia de la materia y la ausencia de toda fuerza vital contraria a ella, también se podía estar seguro de que dichas leyes especiales brindaban verdadero conocimiento causal. Se podía estar seguro que ellas nos estaban develando parte de la trama causal de un mundo físico-químicamente determinado, mostrándonos cómo controlarlo. Para Claude Bernard el compromiso experimentalista era todo el compromiso fiscalista que se necesitaba para el desarrollo de una ciencia. Al apoyarse en la manipulación experimental de los procesos vitales, y al verse refrendada por esa manipulación, la fisiología mostraba que ella tenía mucho a enseñarnos aun cuando este fuese un mundo físicamente determinado.

- 1 Suele atribuirse la formulación estándar del *modelo nomológico-deductivo de explicación* a Hempel (Cf. Salmon, 1990, p. 12; Papineau, 2003 p. 304; Psillos, 2009, p. 148). Pero hacer eso implica ignorar la presentación, totalmente clara y explícita, que Popper ya había hecho de ese modelo en 1934. En 1937, Hempel reseñó la *Lógica de Popper* (cf. Popper, 1977, p. 120).
- 2 Bernard introduce esa distinción en la página 63 de las *Leçons*, y la reitera en las páginas 66; 345; y 379.
- 3 Ver: Caponi (2001, p. 397; 2005, p. 1103; 2012, p. 57).
- 4 Ver: Bernard (1865 p. 655; 1865[1984], p. 130; 1947, p. 270).
- 5 Además de ya aparecer en el *Cahier Rouge* (Bernard 1965, p.52), el tema del origen de la morfología orgánica es explícitamente discutido en casi todas las obras más importantes de Bernard (1865, p. 645; 1984[1865], p. 142; 1867, n. 218; 1878[1867], p. 137; 1872, p. 196; 1878[1875], p. 209; 1878, p. 51; 1879, p. xiv). Al respecto, ver Caponi (2001, p. 395; 2005, p. 1100; 2012, p. 52).
- 6 Entre muchos otros, ver Goodfield & Toulmin (1962, p. 335); Canguilhem (1966, p. 13); Jacob (1973, p. 213); Goodfield (1983, p. 108; 1987, p. 141); Prochiantz (1990, p. 110; 1991, p. 12; 2012, p. 111); Gendron (1992, p. 65); Pichot (1993, p. 706); Ledesma Mateos (2000, p. 335); y Mazliak (2002, p. 314). En mi artículo “La claudicación de Claude Bernard” (Caponi, 2012), además de proponer mi propia interpretación de ese aspecto de la obra de Bernard, también señalé algunas razones para considerar que esas otras interpretaciones fueron insatisfactorias.
- 7 Ver: Caponi (2001, p. 399; 2005, p. 1105; 2012, p. 75).
- 8 Como lo afirma Mirko Grmek (1997, p. 42), la referencia más inmediata que Bernard tenía al introducir esa distinción entre el *cómo* y el *porqué* de los fenómenos era el propio Comte (1912[1854], p.80; 1907[1842], p. 424). Aunque también sea cierto que Bernard no se ajustaba plenamente a lo que Comte había dicho al respecto (Caponi: 2001, p. 388; 2012, p. 56). Lo que el lector familiarizado con la filosofía de la biología sí debe evitar es aproximar la distinción introducida por Bernard con aquella otra distinción que, con base en las mismas expresiones, fue configurándose en la biología evolucionaria, y Mayr (1961) consagró en su célebre *paper* “*Cause and effect in biology*” Mayr, como ya lo habían hecho otros evolucionistas anteriores a él, también distingue entre *causas próximas* que explican el *cómo* de los fenómenos biológicos; y *causas últimas* que explican su *porqué*; pero en ese contexto evolucionista, que no es el de Bernard, las causas últimas son agentes causales naturales y cognoscibles (Caponi, 2000). Como es el caso, paradigmático, de las presiones selectivas (Caponi, 2013).
- 9 Ver Bernard (1865, p. 647; 1984[1865], p. 107; 1869, p. 27).
- 10 Ver Bernard (1865, p. 646; 1878, p 331; 1879, p. xv). También Gayon (1991, p. 181); Grmek (1991a, p. 130; 1997, p. 111), y Caponi (2001, p. 398; 2012, p. 55).
- 11 Sobre este punto Bernard (1865, p. 647; 1984[1865], p. 87; 1878, p. 18; 1947, p. 219) fue siempre muy claro. Véase: Andraut (2013, pp. 146-7).
- 12 Esta es una idea sobre la que se insiste en distintos textos de Bernard (1865, p. 656; 1984[1865], p.109; 1878, p. 379; 1879, p. 51). Ver: Halpern (1966, pp. 104-5); y Caponi (2001, p. 377-8).
- 13 Véase: Roll-Hansen (1976, p. 81), y Huneman (1998, p. 29).
- 14 En su *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande (1947, p. 1214) distingue dos acepciones del término ‘vitalismo’: una estrecha que

- remite exclusivamente a las tesis de la escuela de Montpellier, y a Barthez en particular; y otra amplia que, por ser aquella que Bernard considera en sus textos (cf. Lalande, 1947, pp. 1214-5), es la que aquí estoy adoptando. Según esa acepción amplia, es vitalista toda posición que admita que “los fenómenos de la vida poseen caracteres *sui generis*, por los cuales ellos se diferencian radicalmente de los fenómenos físicos y químicos, manifestando así la existencia de una fuerza vital irreductible a las fuerzas de la materia inerte” (cf. Lalande, 1947, p. 1214).
- 15 No debe pensarse que, en el momento en el que Bernard desarrollaba sus trabajos, el vitalismo fuese un *perro muerto* (cf. Waisse-Priven, 2009, p. 103 y ss). A mediados del XIX, las ideas de Bichat estaban aún muy presentes (cf. Lemoine, 1864, p. 16), y una figura tan influyente en la época, como lo era Johannes Müller (1851, p.25), también sostenía tesis vitalistas (cf. Albarracín, 1983, p. 92 Waisse-Priven, 2009, p. 113; Caponi, 2012, p. 74). De hecho, dichas tesis siguieron seduciendo a los biólogos hasta las primeras décadas del siglo XX: exigiendo impugnaciones como las de Ralph Lille (1914) y Herbert Spencer Jennings (1918). La idea de *entelequia* sostenida por Hans Driesch (1908, p. 143) y James Johnstone (1914, p. 329) es el ejemplo más claro y conocido de esa persistencia del vitalismo, y la misma todavía era seriamente discutida a mediados del siglo XX (cf. Hartmann, 1960[1947], p. 124).
- 16 Véase Bernard (1984[1865], p. 103; 1865 p. 644; 1878, p. 112); y también Canguilhem (1983, p. 149); Goodfield (1987, p. 137); Holmes (1991, p. 55); Jeannerod (1991, p. 147); Pichot (1993, p. 692); Grmek (1997 p. 108); Ledesma Mateos (2000 p. 333); Caponi (2001, p. 386); Mazliak (2002, p. 286), y Pépin (2013, p. 13).
- 17 Véase Dastre (1906, p. 48); Goodfield (1987, p. 138); Pichot (1993, p. 692); Huneman (1998, p. 101).
- 18 Véase también Bernard (1865, p. 643; 1878 p. 57; 1947, p. 150).
- 19 Ese es el octavo subtítulo del capítulo primero de la segunda parte de la *Introduction*.
- 20 Pueden encontrarse referencias a esas leyes especiales en varios pasajes de los escritos de Bernard (1865, p. 655; 1984[1865], p. 110; 1947, p. 267).
- 21 Bernard dice “una vez que la máquina orgánica está constituida” para así dejar fuera de la discusión todo lo relativo a esas problemáticas leyes morfológicas a las que aludí más arriba.
- 22 En *Leyes sin causa y causas sin ley en la explicación biológica* (Caponi, 2014, pp. 134-5) mostré esa proximidad, de hecho para nada sorprendente, entre las tesis de Claude Bernard y las tesis de James Woodward sobre la explicación causal.
- 23 Véase también Bernard (1984[1865], p. 102; 1865, p. 642; 1878 p. 53; 1879, p. XIV).
- 24 Véase Bernard (1984[1865], p. 101 y p. 135; 1865, p. 649 y p. 654; 1878, p. 52 y p. 339). Este aspecto del pensamiento de Bernard ha sido apuntado por autores como Schiller (1973, p. 152); Goodfield (1983, p. 122); y Grmek (1991a, p. 142).
- 25 Al respecto, ver Gendron (1992, p. 20); Gayon (1996, p. 159), y Huneman (1998, p. 109).
- 26 Quizá sea oportuno recordar aquí, la precisión que al respecto introdujo Joseph Schiller (1973, p. 152): “Aunque la expresión ‘físico-químico’ era usada por Bernard, ella es muy amplia y necesita aclaración. Física y química pueden disociarse una de otra; ellas no responden el mismo tipo de preguntas.

Aplicada a la biología, la física permite registrar un fenómeno (presión sanguínea), y provee excelentes instrumentos de exploración (estímulo galvánico), pero la naturaleza íntima del fenómeno es química". En trabajos posteriores, Frederic Holmes (1974) y Claude Debru (1979; 1991) parecen ratificar esa afirmación de Schiller en lo que atañe al predominio explicativo de la química en la obra de Bernard. Sobre el uso de la física, aunque también de la química, como medio de exploración del fenómeno vital, ya volveremos más adelante en este mismo trabajo.

- 27 En *Leyes sin causa y causas sin ley en la explicación biológica* (Caponi, 2014, p. 126 y ss.), en el contexto de una discusión muy próxima de la que aquí nos ocupa, analicé éste y otros ejemplos semejantes.
- 28 Véase también: Bernard (1865, p. 655; 1984[1865], p. 130; 1947 p. 270).
- 29 Es obvio que cuando Bernard trae a cuento a la irritabilidad, sabe que esa noción ya tiene una larga trayectoria en el desarrollo de la fisiología: una trayectoria que él, en general, reivindica y retoma; y en la cual aparecen nombres como los de Glisson, Barthez, Bordeu, Haller, Broussais, y Virchow. De las *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, Bernard (1866) dedica la tercera y cuarta a la revisión de esa historia; y vuelve a hacerlo en el inicio de la séptima de las *Leçons sur les Phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (Bernard, 1878).
- 30 Mirko Grmek (1991b, p. 48) dijo alguna vez que la expresión 'reduccionismo' no aparece en la obra de Bernard. Pero por lo visto 'reducción' sí aparece, y usada a la manera en que hoy se usa en las discusiones las relaciones entre propiedades físicas y biológicas.
- 31 Bernard (1878[1876], p. 220) consideraba que la sensibilidad era lo mismo que la irritabilidad; o, en todo caso, una forma de ésta (Bernard, 1878, p. 281).
- 32 Al respecto, Bernard (1965, p. 40; 1865, p. 648; 1879, p. 88; 1947, p. 244) siempre fue muy claro (cf. Schiller, 1973, p. 152; Holmes, 1974, p. 455; Coleman, 1985, p. 265).
- 33 Véase Bernard (1878[1864], p. 237; 1866, p. 177; 1878, p. 251; 1879, p. 88).
- 34 Los *principios* a los que se está refiriendo Bernard (1984[1865], p.121) son sustancias formadas por los propios seres vivos (orgánicas pero no organizadas) tales como almidón, azúcar y albúmina.

REFERENCIAS

- Albarracín Teulón, A. (1983), *La teoría celular*. Madrid: Alianza.
- Ameghino, F. (1915[1884]), *Filogenia*. Buenos Aires: La Cultura Argentina.
- Andraut, R. (2013), "Définir le vitalisme. Les lectures de Claude Bernard", in Duchesneau, F.; Kupiec, J.; Morange, M. (eds.), *Claude Bernard: la méthode de la Physiologie*. Paris: Éditions Rue d'Ulm, pp. 133-152.
- Bernard, C. (1865), "Du progrès dans les sciences physiologiques". *Revue des deux mondes*, 58 (35), 640-663.
- Bernard, C. (1866), *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*. Paris: Baillière.
- Bernard, C. (1867), *Rapport sur les progrès et la marche de la Physiologie Générale en France*. Paris: L'Imprimerie Impériale.
- Bernard, C. (1869), *Discours prononcé a sa réception a l'Académie Française le 27 Mai 1869*. Paris: Didier.
- Bernard, C. (1872), *De la Physiologie Générale*. Paris: Hachette.
- Bernard, C. (1875), *Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie*. Paris: Baillière.
- Bernard, C. (1878[1864]), "Études physiologiques sur quelques poissons américains: le curare", en Bernard, C., *La science expérimental*. Paris: Ballière, pp. 237-315.
- Bernard, C. (1878[1867]), "Le problème de la Physiologie Générale", en Bernard, C., *La science expérimental*. Paris: Ballière, pp. 99-148.
- Bernard, C. (1878[1875]), "Définition de la vie", en Bernard, C., *La science expérimental*. Paris: Ballière, pp. 149-212.
- Bernard, C. (1878[1876]), "La sensibilité dans le règne animal et dans le règne végétal", en Bernard, C., *La science expérimental*. Paris: Ballière, pp. 218-236.
- Bernard, C. (1878), *Leçons sur les Phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Paris: Baillière.
- Bernard, C. (1879), *Leçons de Physiologie Opératoire*. Paris: Baillière.
- Bernard, C. (1947), *Principes de médecine expérimentale*. Paris: PUF.
- Bernard, C. (1965), *Cahier de notes 1850-1860* (Edition intégrale du *Cahier Rouge* présentée et commentée par Mirko Grmek). Paris: Gallimard.
- Bernard, C. (1984[1865]), *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Flammarion.
- Bertalanffy, L. (1974), *Robots, hommes y mentes*. Madrid: Guadarrama.
- Bichat, X. (1994[1798]), "Discours sur l'étude de la Physiologie", in Bichat, X., *Recherches physiologiques sur la vie et la mort (première partie) et autres textes*. Paris: Flammarion, pp. 285-300.
- Bichat, X. (1994[1800]) *Recherches physiologiques sur la vie et la mort* (première partie), in Bichat, X., *Recherches physiologiques sur la vie et la mort (première partie) et autres textes*. Paris: Flammarion, pp. 55-209.
- Bordier, H. (1902), *Précis de manipulations de Physique Biologique*. Paris: Doin.
- Canguilhem, G. (1966), Prefacio a Bernard, C., *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Paris: Vrin, pp. 7-14.
- Canguilhem, G. (1983), "Theorie et technique de l'experimentation chez Claude Bernard", in Canguilhem, G., *Études d'Histoire et de Philosophie des Sciences*. Paris: Vrin, pp. 143-155.
- Caponi, G. (1997), "Claude Bernard, Charles Darwin y los dos modos fundamentales de interrogar lo viviente", *Principia* 1(2): 203-238.
- Caponi, G. (2000), "Cómo y porqué de lo viviente", *Ludus Vitalis* 8 (14): 67-102.
- Caponi, G. (2001), "Claude Bernard y los límites de la fisiología experimental", *História, Ciência, Saúde* 8(2): 375-406.

- Caponi, G. (2005): "Las leyes morfológicas en el programa bernardiano", in Saldaña, Juan (ed.), *Proceedings of the XXIst International Congress of History of Science*. México: Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Técnica, pp. 1100-1109.
- Caponi, G. (2008), *Georges Cuvier: un fisiólogo de museo*. México: UNAM.
- Caponi, G. (2012), "La claudicación de Claude Bernard", *Metatheoria* 2(2): 51-80.
- Caponi, G. (2013), "El concepto de presión selectiva y la dicotomía próximo-remoto", *Aurora* 25(36): 197-216.
- Caponi, G. (2014), *Leyes sin causa y causas sin ley en la explicación biológica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Comte, A. (1907[1842]), *Cours de Philosophie Positive*, T. 6. Paris: Schleicher frères.
- Comte, A. (1912[1854]), *Systeme de Politique Positive*, T. 2. Paris: G. Crès & Cie.
- Cuvier, G. (1805), *Leçons d'Anatomie Comparée*, T.1. Paris: Baudouin.
- Coleman, W. (1985), *La biología en el siglo XIX*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Dastre, A. (1906), *La vida y la muerte*. Librería Gutenberg: Madrid.
- Debru, C. (1979), "Claude Bernard et l'idée d'une chimie biologique", *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs applications* 32 (2): 143-162.
- Debru, C. (1991), "L'art du physiologiste et l'interprétation des faits", in Michel, J. (ed.), *La nécessité de Claude Bernard*. Paris: Méridiens Klincksieck, pp. 21-35.
- Delsol, M. & Perrin, L. (2000), *Médecine et biologie: quelle logique?* Paris: Masson.
- Diez, J. (2002), "Explicación, unificación y subsunción", in González, W. (ed.), *Diversidad de la explicación científica*. Barcelona: Ariel, pp. 73-93.
- Driesch, H. (1908), *The Science and Philosophy of Organism*. London: Black.
- Gayon, J. (1991), "Un objet singulier dans la philosophie biologique Bernardienne: l'hérédité", in Michel, J. (ed.), *La nécessité de Claude Bernard*. Paris: Méridiens-Klincksieck, pp. 169-182.
- Gayon, J. (1996), "Les réflexions méthodologiques de Claude Bernard", *Bulletin d'Histoire et d'Épistémologie des Sciences de la Vie* 3(1): 145-161
- Gendron, P. (1992), *Rationalité d'une méthode*. Paris: Vrin.
- Goodfield, J. (1983), "Estrategias cambiantes; comparación de actitudes reduccionistas en la investigación médica y biológica en los siglos XIX y XX", in Ayala, F. & Dobzhansky, T. (eds.), *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Ariel, pp. 98-126.
- Goodfield, J. (1987), *El desarrollo de la fisiología científica*. México: UNAM.
- Goodfield, J. & Toulmin S. (1962), *The Architecture of Matter*. New York: Harper & Row.
- Grmek, M. (1991a), *Claude Bernard et la méthode expérimentale*. Paris: Payot.
- Grmek, M. (1991b), "Intervention dans le premier débat", in Michel, J. (ed.), *La nécessité de Claude Bernard*. Paris: Méridiens Klincksieck, pp. 48-50.
- Grmek, M. (1997), *Le legs de Claude Bernard*. Paris: Fayard.
- Grmek, M. (1999), "Le concept de maladie", in Grmek, M. (ed.), *Histoire de la pensée médicale en Occident*. Paris: Seuil, pp. 147-168.
- Haeckel, E. (1947[1868]), *Historia de la creación de los seres organizados según leyes naturales*. Buenos Aires: Americana.
- Halpern, B. (1966), "Concepts philosophiques de Claude Bernard d'après l'Introduction à l'Étude de la Médecine Expérimentale", *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs applications* 19(2): 97-114.
- Hartmann, M. (1960[1947]), *Introducción a la biología general*. México: UTEHA.
- Hempel, C. (1979[1942]), "La función de las leyes generales de la historia", in Hempel, C., *La explicación científica*. Buenos Aires: Paidós, pp. 233-246.

- Holmes, F. (1974), *Claude Bernard and Animal Chemistry*. Cambridge: Harvard University Press.
- Holmes, F. (1991), "La signification du concept de milieu intérieur", in Michel, J. (ed.), *La nécessité de Claude Bernard*. Paris: Méridiens Klincksieck, pp. 53-65.
- Huneman, P. (1998), *Bichat, la vie et la mort*. Paris: PUF
- Jacob, F. (1973), *La lógica de lo viviente*. Barcelona: Laia.
- Jeannerod, M. (1991), "Les relations entre organisme et milieu chez Claude Bernard", in Michel, J. (ed.), *La nécessité de Claude Bernard*. Paris: Méridiens Klincksieck, pp. 141-153.
- Jennings, H. (1918), "Mechanism and vitalism", *The Philosophical Review* 27 (6): 577-596.
- Johnstone, J. (1914), *The Philosophy of Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kant, I. (1989[1786]), *Principios metafísicos de la ciencia de la naturaleza*. Alianza: Madrid.
- Lalande, A. (1947), *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. Paris: PUF.
- Ledesma Mateos, I. (2000), *Historia de la biología*. México: AGT.
- Lemoine, A. (1864), *Le vitalisme et l'animisme de Stahl*. Paris: Baillière.
- Lille, R. (1914), "The philosophy of biology: vitalism versus mechanism", *Science* (New Series) 40 (1041): 840-846.
- Lorenzano, P. (2011), "Leis e teorias em Biologia", in Abrantes, P. (ed.), *Filosofia da Biologia*. Porto Alegre: Artmed, pp. 52-82.
- Mayr, E. (1961), "Cause and effect in biology", *Science* 134: 1501-1506.
- Mazliak, P. (2002), *Les fondements de la biologie: le XIX siècle de Darwin, Pasteur et Claude Bernard*. Paris: Vuibert.
- Müller, J. (1851), *Manuel de Physiologie*. Paris: Baillière.
- Nagel, E. (1998), "Teleology revisited", in Allen, C.; Bekoff, M.; Lauder, G. (eds.), *Nature's Purposes: Analysis of Function and Design in Biology*. Cambridge: MIT Press, pp. 197-240.
- Norman, R. (1971), *Biología experimental*. Buenos Aires: Troquel.
- Papineau, D. (2003), "Philosophy of science", in Bunnin, N. & Tsui-James, E. (eds.), *The Blackwell Companion to Philosophy*. Oxford: Blackwell, pp. 286-316.
- Pépin, F. (2013), "Le milieu intérieur et le déterminisme", in Duchesneau, F.; Kupiec, J.; Morange, M. (eds.), *Claude Bernard: la méthode de la Physiologie*. Paris: Éditions Rue d'Ulm, pp. 11-32.
- Pichot, A. (1993), *Histoire de la notion de vie*. Paris: Gallimard
- Popper, Karl (1962[1934]), *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Popper, Karl (1977), *Búsqueda sin término*. Madrid: Tecnos.
- Prochiantz, A. (1990), *Claude Bernard: la révolution physiologique*. Paris: PUF.
- Prochiantz, A. (1991), "Claude Bernard: la force du vivant", in Michel, J. (ed.), *La nécessité de Claude Bernard*. Paris: Meridiens-Klincksieck, pp. 11-20.
- Prochiantz, A. (2012), *Qu'est-ce que le vivant?* Paris: Seuil.
- Psillos, S. (2002), *Causation and Explanation*. Stockfields: Acumen.
- Psillos, S. (2009), "Regularity theories", in Beebe, H.; Hitchcock, C.; Menzies, P. (eds.), *The Oxford Handbook of Causation*. Oxford: Oxford University Press, pp. 131-157.
- Roll-Hansen, N. (1976), "Critical teleology: Immanuel Kant and Claude Bernard on the limitations of experimental biology", *Journal of the History of Biology* 9(1): 59-91.
- Salmon, W. (1990), *Four Decades of Scientific Explanation*. Pittsburgh: Pittsburgh University Press.

- Schiller, J. (1973), "The genesis and structure of Claude Bernard's experimental method", in Giere, R. & Westfall, R. (eds.), *Foundations of Scientific Method: the Nineteenth Century*. Bloomington: Indiana University Press, pp. 133-160.
- Tirard, S. (2013), "Claude Bernard et les trois formes de vie", in Duchesneau, F.; Kupiec, J.; Morange, M. (eds.), *Claude Bernard: la méthode de la Physiologie*. Paris: Éditions Rue d'Ulm, pp. 49-62.
- Waisse-Priven, S. (2009), *D&D: duplo dilema*. São Paulo: EDUC.
- Woodward, J. (2002), "What is a mechanism?", *Philosophy of Science* 69: S366-S377.
- Woodward, J. (2003), *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*. Oxford: Oxford University Press.
- Woodward, J. (2010), "Causation in biology", *Biology & Philosophy* 25: 287-318.