

Tipos de explicación y la explicación mecanística. Una aproximación crítica desde la explicación por incrustación modeloteórica ampliativa del estructuralismo metateórico

Juan Manuel Jaramillo U.[†]

Resumen

En filosofía de la ciencia hay varios modelos de explicación, siendo el de la explicación nomológica deductiva (*END*) de Hempel y Oppenheim (1948) y, sobre todo, el de Hempel (1962, 1965, 1966) un modelo paradigmático. Las críticas a éste llevaron a proponer modelos alternativos de explicación: la explicación *pragmática* (*EP*) de van Fraassen (1980); la *causal* o de *relevancia (causal) estadística* (*ERE*) de Salmon (1971); la *unificacionista* (*EU*) de Friedman (1974), Gähde (1989) y Kitcher (1989) y Bartelborth (1996, 1999, 2001) y la *de subsunción o incrustación modelo-teórica ampliativa* (*MSMA*) del estructuralismo metateórico de Díez (2002a, 2002b, 2012). En este escrito se hará referencia, además, a la explicación mecanística (*EM*) de Craver (2007), Bechtel y Richardson (1993) y Bunge (1983, 1999a, 1999b), entre otros, quienes consideran que las explicaciones anteriores son insatisfactorias, pues no describen el mecanismo causal subyacente que produce o mantiene el fenómeno *explanandum*. Pero describir no es explicar. Es necesario explicitar las teorías de base y el *MSMTA* es el que mejor proporciona las herramientas necesarias para una explicación global y unificada de dichas teorías.

.....
[†] Este trabajo fue realizado con la ayuda del proyecto de investigación PICT-2018-3454 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina (ANPCyT, Argentina). Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: juan.m.jaramillo@correounivalle.edu.co

Introducción

Uno puede mirar el mundo y las cosas que hay en él como cajas negras cuyo funcionamiento interno no podemos observar directamente. Lo que queremos hacer es abrir la caja negra y exponer sus mecanismos internos

(Wesley Salmon)

La explicación y predicción constituyen los dos objetivos teóricos fundamentales de las teorías *científicas*. Por ello resulta de trascendental importancia para la filosofía de la ciencia elucidar la naturaleza, estructura, función y alcances de la explicación científica. Hempel y Oppenheim (1948) inauguran la etapa moderna de los estudios filosóficos de la explicación científica y sientan las bases de lo *que después se conocerá como «la explicación nomológico-deductiva» (en adelante END) o modelo «cobertura legal»* dado que la explicación es un argumento deductivo en el que el *explanandum* es una consecuencia lógica del *explanans*.¹

Sin embargo finales de los años cincuenta comienzan a aparecer una serie de críticas a este modelo entre las que cabe destacar las de Salmon, Scriven, Hanson, Bromberg, Scheffler y Psillos.²

En este escrito me voy a referir a los principales modelos alternativos o complementarios de explicación a la *END* que surgieron en los setenta como consecuencias de los cuestionamientos a dicho modelo, como son: (i) la *explicación pragmática (EP)* de Bas van Fraassen (1980); (ii) la explicación de *relevancia causal (ERC)* de Wesley Salmon (1984, 1989); (iii) la *explicación unificacionista (EU)* de Michael Friedman (1974), Ulrich Gähde (1989) y Philip Kitcher (1989); (iv) la explicación por *subsunción o incrustación [embedding] modelo-teórica del especial, del estructuralismo metateórico y, en ella la explicación por subsunción modelo-teórica ampliada de José A. Díez (2002a, 2002b, 2012); y, además, (v) la explicación mecanística, (EM)* de Craver (2001a, 2001b, 2005, 2006, 2007, 2012), Glennan (2002), Bechtel y Abrahamsen (2005) y Mario Bunge (1999a, 1999b, 1972), dada la inmensa cantidad de investigaciones en las que se apela a la *EM* en disciplinas como la biología, las ciencias cognitivas, incluyendo de modo especial, la neurociencia y la psicología cognitiva, la física y astrofísica, la química orgánica, las cien-

.....
¹ Hempel reconoce que su idea no es original, pues, antes de él, Aristóteles, Mill, Campbell y Popper, hicieron mención de ella, si bien es el trabajo fundacional de Hempel y Oppenheim (1948) y los trabajos posteriores de Hempel en la década de los sesenta del siglo pasado donde se hará una presentación sistemática de ella. Aunque hablaremos de *EDN*, quizá un término más apropiado —como dice Díez— sería el de *explicación inferencialista nomológico* para diferenciarlo de otras propuestas que exigen apelar a leyes (Véase Díez, 2012, p. 521). Además, es preciso diferenciar la explicación nomológico deductiva particular, general, estadística, inductivo estadística (Véase Díez & Moulines, 1997, pp. 228-247).

² Estas críticas comprenden el problema la naturaleza de las leyes y su en todas las ciencias éstas existen; la asimetría; los efectos de causa común; la relevancia causal; las explicaciones con leyes de baja probabilidad, la universalidad del modelo, entre otras.

cias de la computación e incluso, investigaciones como las de Elster 1989 que, echando mano de la metodología individualista, propone explicar los fenómenos sociales macro apelando a los intereses, deseos, motivaciones, etc. de los agentes sociales.

La explicación pragmática

Esta explicación propuesta por Bromberger (1962, 1966), Achinstein (1983, 1984) y, de modo especial por B. van Fraassen (1980) se caracteriza por la incorporación en ella de componentes pragmáticos como el contexto, los intereses de los sujetos epistémicos, etc.

B. van Fraassen destaca dos interrogantes que apuntan a dos grandes problemas de la explicación científica: (i) «¿Cuándo algo es explicado?» y, (ii) «¿Por qué la explicación científica es una virtud?». Para él, estos dos interrogantes responden a tres falsos ideales: (i) la explicación como una relación entre una teoría y los fenómenos que ella pretende explicar; (ii) la posibilidad lógica de separar el poder explicativo de otras virtudes de la teoría y, (iii) la explicación como virtud suprema de la investigación científica. Para él, estos ideales tienen que ver con un enfoque realista de las teorías científicas donde “la construcción de teorías se propone darnos un relato literalmente verdadero de cómo es el mundo y [donde] la aceptación de una teoría científica lleva consigo la creencia en que ésta es verdadera” (van Fraassen, 1996 [1980], p. 26). Dicho enfoque se contrapone a su defensa del antirrealismo que denomina «*empirismo constructivo*» y que formula así: “la ciencia se propone ofrecernos teorías que son empíricamente adecuadas; y la aceptación de una teoría involucra como creencia solamente que ella es empíricamente adecuada” (p. 28), e.e., que “lo que la teoría dice acerca de los fenómenos observables es correcto” (p. 82) o, más precisamente, que las apariencias sistematizadas, conocidos como modelos de datos, fruto de la observación empírica son, como subestructuras de los modelos teóricos, isomorfas con las estructuras de esos modelos, de suerte que la explicación consiste en la *subsunción* de esas subestructuras bajo los modelos teóricos determinados por leyes.

Considera, además, que toda explicación científica es la respuesta a una pregunta del tipo “¿por qué?” (de ahí su carácter erotético), e.e., la respuesta a una *P*-pregunta cuya respuesta solo tienen sentido en un contexto determinado por tres factores: (i) el «tema» P_k ; (ii) la clase contraste $X = \{P_k, B_1, \dots, B_n\}$, pues P_k lleva implícitas otra serie de preguntas alternativas B_1, \dots, B_n y, (iii) *relación de relevancia* R que hace que P_k sea relevante en un contexto específico en comparación con B_1, \dots, B_n , como sucede con las cuatro causas [*aitiai*] de Aristóteles donde, dependiendo del contexto, puede ser más relevante una causa que otra. Así la *P*-pregunta es entonces un triplo ordenado $Q = \langle P_k, X, R \rangle$.

En las ciencias, la escogencia de la característica relevante que como *causa* explica un fenómeno, no es ajena a los intereses ni a la manera como cada individuo enfoca o plantea el problema, pero en ella “ningún factor es relevante explicativamente hablando, salvo que sea científicamente relevante, y entre los factores científicamente relevantes, el contexto determina aquellos que son relevantes explicativamente” (van Fraassen, 1996 [1980], p. 158).

Esta explicación, aunque guarda parecido con la de Salmon para quien la explicación depende de factores *estadísticamente relevantes* en los que la *alta* probabilidad de la causa no basta para establecer la probabilidad del efecto. Esto lo ilustra Salmon con numerosos casos estadísticos, pues aunque sepamos que un desfoliador tiene una efectividad del 90 %, no se puede afirmar que determinada planta murió porque fue rociada con él, ya que otras causas pueden llevar al mismo resultado.

Si bien la relativización pragmática de la explicación es bastante aceptada por la comunidad de filósofos de la ciencia, ésta —como dice Moulines (2008 [2011])— “es demasiado general para dar cuenta de la validez de una explicación propuesta” (p. 153) y, en consecuencia, sería necesario introducir otras condiciones adicionales diferentes de la pertinencia.

La explicación por relevancia estadística

Desde los años setenta y ochenta Brody, Humphreys, Lewis, pero sobre todo Salmon (1984) y (1989) (conocido como «segundo Salmon») introduce una noción novedosa de *causalidad* y una *explicación de relevancia* (causal) estadística (*ERE*) que incluye:

- (i) un hecho particular a explicar *e* (*explanandum*);
- (ii) una historia causal *C* antecedente a la que pertenece *e*;
- (iii) un contexto que determina el factor causal explicativamente relevante para *e* (*explanans*).

Aquí, a diferencia de la *END*, no se trata de un argumento deductivo o de la esperabilidad del *explanandum* a partir del *explanans*, sino de un conglomerado de factores causales *c* del *explanandum*, entre los que hay que determinar el factor causal relevante en función del contexto.

Esta explicación resuelve problemas como el de la inferencia simétrica, pues el hecho causal relevante (*explanans*) es anterior y dado que la relación de causalidad es asimétrica, la sombra que, por ejemplo, producen los rayos del Sol sobre un mástil no explica su altura (Principio asimétrico de la causalidad). En el caso de la explicación de regularidades, lo que ocurre es que leyes particulares que no son causales como se evidencia en la ley de Galileo sobre la caída de los cuerpos, la de Boyle sobre los gases o la de la *o* la distribución en términos de frecuencias relativas de los rasgos y caracteres de los progenitores en la descendencia de Mendel que, si bien no son causales, para un causalista como Salmon se podrían explicar a partir de leyes causales más generales que sí lo son, como las leyes de la mecánica newtoniana, de la teoría cinética de los gases (mecánica estadística) o de la genética molecular, algo que no siempre resulta claro. respectivamente. Newton por ejemplo, es explícito en reconocer —como lo hace en el *Scolium Generale* de los *Principia Mathematica*— que aunque ha explicado los fenómenos de los cielos y de las mareas por la fuerza gravitatoria, no ha asignado a esa fuerza una causa, pues —según sus palabras— “hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos y no finjo hipótesis [*hypotheses non fingo*]” (Newton,

1982, pp. 816-817). No obstante, Newton no cesó en su empeño de postular una causa como la de un «Agente Inteligente» o de inferir esa fuerza a partir de los átomos, algo desechará después.³

Uno de los aportes más importantes de Salmon es haber precisado la noción de *causalidad* al considerar que un hecho está bien explicado si puede ser insertado en una *red causal*. Su «fuerza explicativa» radica en la posibilidad de exhibir esa red causal de la que el hecho general forma parte. Si bien la respuesta a la *P*-pregunta, pregunta *por qué*, las explicaciones estocásticas que demandan una respuesta exigen identificar, en cada caso, los *factores estadísticamente relevantes*, con independencia de si la probabilidad es alta o baja, pues las correlaciones estadístico-probabilistas no son suficientes. Para ello, se exige identificar los *mecanismos causales relevantes* que las explican. Así, por ejemplo, la baja de presión atmosférica en el barómetro es un *indicativo* de la proximidad de tormenta, pero su explicación remite, entre otras cosas, a las condiciones atmosféricas que como factor relevante, la explican, pues si bien la tormenta está correlacionada con la baja de la presión en el barómetro, esta última no explica a aquella, pues no hace parte de la historia causal del *explanandum*. Igual sucede cuando el *explanans* es posterior al *explanandum* como cuando intentamos explicar causalmente un eclipse apelando a las posiciones futuras de los cuerpos celestes, pues las causas siempre tienen prioridad temporal sobre el efecto e.e, son anteriores a éste (Principio de Prioridad temporal) Finalmente, hay hechos que no tienen ninguna relación relevante como explicar que un individuo masculino no queda embarazado porque tomó pastillas anticonceptivas, pues este “*explanans*” no está vinculado causalmente con el *explanandum* (Principio de relevancia).

Pero para Salmon las correlaciones estadísticamente relevantes que se dan en un nivel *macro* no son suficientes. Éstas deben ser explicadas en un nivel más profundo o de «grano fino», e.e, en un nivel *micro*, como lo propondrán los defensores de las explicaciones mecanísticas (*EM*) algunos años después, donde cabe la *reducción macro-micro* dado el carácter multinivel del mecanismo.

En cuanto a la noción de *causalidad*, Salmon (1980) focaliza su interés en ciertos mecanismos causales, de manera especial, en los *procesos e interacciones causales*, tomando como términos primitivos los de *proceso e intersección espacio-temporal* y diferenciando los *procesos e intersecciones verdaderamente causales* de los *pseudo-procesos y pseudo-intersecciones causales*.

Para él, un proceso es *causal* si es capaz de transmitir una *marca* y ésta marca o información persiste por un período de tiempo, como cuando un vehículo choca contra un muro y deja su marca en él; dos procesos son una *interacción causal* si ambos son *modificados* en la intersección y esta modificación *persiste* por un período de tiempo más allá del *locus* de intersección, como sucede con cuando chocan de dos bolas de billar en la que el

.....

³ Años después, muchos de estos intentos culminan con la relatividad general de Einstein al rechazar la idea de gravitación como fuerza y proponer, como explicación de la gravedad, la incurvación del continuo espacio-tiempo motivada por la presencia de cuerpos masivos y proporcional a estos.

estado de movimiento de cada una se modifica y esta modificación se mantiene o conserva más allá del punto de colisión como lo expresa la ley de conservación del *momentum* (Véase Salmon, 1984, 1998).⁴ En consecuencia, para que algo sea un *proceso/interacción causal* se requiere:

- (i) que la *influencia* (marca, energía o información) transmitida persista más allá del proceso o interacción causales y,
- (ii) que la *velocidad de transmisión* de la marca, energía o información no exceda el límite de la velocidad de la luz en el vacío, como lo establece la teoría de la relatividad especial.⁵

Si estos requisitos no se cumplen, los procesos e interacciones causales no son auténticos. Dowe (1992), por ejemplo, hablará de «procesos en términos de cantidades conservadas como el *momento lineal*, el *momento angular*, la *masa-energía* y la *carga eléctrica*. “Aunque Salmon reconoce el carácter *unificacionista* de las explicaciones cuánticas, considera, sin embargo, que “algunas de ellas no son explicaciones causal/mecánicas” (Véase Salmon, 1984, pp. 242-259; 1998).

Rolleri (2007) precisa que la crítica de Salmon a las explicaciones causales en la *MQ* solo se refiere a procesos de *transición*, *intersección* o *colisión*, pero no a los de *transformación* de un sistema físico en otro, como sucede con la fusión y fisión nucleares o, de manera espontánea, con desintegración radioactiva, sin que exista una causa externa que la produzca. En los casos de *transición* y de *intersección* se transita aleatoriamente a posibles estados alternativos y excluyentes del *mismo* sistema pero en los procesos de *transmutación* se da origen a *distintos* sistemas posibles alternativos y excluyentes, como sucede con la desintegración de una partícula inestable de plomo 210 que conduce o a una de mercurio 206 o de bismuto 210, o cuando se bombardea con un neutrón un átomo de uranio 235 cuyo resultado es un átomo de bario 142 y de criptón 9. En estos casos, Rolleri (2007) señala que «la estructura» de los procesos causales que se intersectan espacio-temporalmente no persiste después de la intersección, pues ésta genera nuevos elementos o varios procesos. [...] distintos de los procesos que inciden y que se definen de manera diferente (p. 14).

En consecuencia, aunque la *ERE* de Salmon permitió resolver algunos de los problemas de la explicación *ND*, dicha explicación, solo es aplicable a procesos locales de *transmisión* e *interacción* de información que presentan una continuidad espacio-temporal, pero no a los procesos de *transmutación* como son algunos de los casos antes mencionados.

.....

⁴ R. Descartes en su libro *Traité du monde et de a lumière* se propone explicar diversos fenómenos del mundo natural tales como el movimiento planetario, las mareas, el movimiento de la sangre y las propiedades de la luz en términos de la conservación del momento, pero con el tiempo se empezaron a buscar las fuerzas causales en el mundo, además de la conservación del momento como la atracción-repulsión (Raymond), conservación de la energía (Helmholtz), atracción gravitatoria (Newton), etc.

⁵ Para Salmon la interacción causal entre dos eventos está dada esencialmente por la *transmisión de información*.

De todos modos, los galardonados Premios Noble de Física 2022 (A. Aspect, A. Zellinger y J. Clauser) demostraron experimentalmente el principio de entrelazamiento cuántico y, con él, la posibilidad de transmitir información entre dos partículas que en algún momento interactuaron, a pesar de encontrarse separadas espacialmente, pues dos partículas que interactuaron en el pasado (fotones, por ejemplo), no pueden definirse como partículas individuales con estados definidos, sino como *un* solo sistema con *una* función de onda para todo él. Aquí no interesa la distancia en que se encuentren.

En suma, la explicación causal de Salmon resuelve muchos de los problemas que planteó la *END* de Hempel, si bien —como lo reconoció el mismo Salmon— ese modelo causalista no sería aplicable a *todas* las teorías científicas. Solo sería aplicable a aquellas eventos-ejemplares [*token events*] que en los que para su explicación se apele a leyes causales, e.e, a leyes que incluyen términos conceptos cuya extensión sean relaciones causales entre eventos-tipo [*type-events*]

La explicación como unificación

Para Bartelborth (2002) fue Friedman (1974) quien advirtió que con el *MND* se promueve una comprensión unificada del mundo, al hacer posible subsumir nuestras particulares observaciones, eventos y hechos singulares, al igual que regularidades en patrones y regularidades más generales y así reunirlos en una concepción coherente de mundo (p. 91).⁶ Son esos «patrones básicos» de carácter nómico los que permiten unificar el conocimiento del mundo. Sin embargo, la noción de «patrón nómico» de Bartelborth resulta un tanto vaga; es preferible hablar de «ley fundamental como «principio guía» como lo hace el estructuralismo metateórico.

Este *MND* fue criticado y complementado por Kitcher (1976, 1981, 1986, 1989), quien, no obstante apelar a un argumento deductivo, reconoce que el poder de su argumento no se circunscribe a una premisa (*explanans*) que contiene *una* ley como enunciado, sino a toda una estructura argumentativa o «patrón argumentativo» [*argumentative pattern*] que contiene una serie de supuestos independientes (creencias) que brindan una verdadera comprensión. Para Kitcher (2001 [1993]) la explicación como actividad cognitiva busca dar respuesta a *P*-preguntas y su «patrón argumentativo» incluye una serie de premisas (*explanans*) y la «derivación» o «deducción» de éstas de una oración singular (*explanandum*), algo en lo que coincide con la *END*. En el caso de Kitcher, sin embargo, no bastan solo las premisas y la conclusión, sino —como dice Moulines—

.....
⁶ Las leyes de Newton explican las de Kepler y reúne los hechos de física celeste galileana con los de la terrestre galileana. De este modo, evaluamos algo como una explicación, pero siempre con relación a un conjunto *K* de enunciados legaliformes aceptados que tenemos como transcurso de suerte que una teoría *S* explica un fenómeno *P* si (i) *P* es una consecuencia de *S*, relativa al conjunto *K*, y (ii) *S* “reduce” y “unifica” el conjunto de todas sus consecuencias relativas a *K*. Lo que Friedman defiende es una comprensión de la ciencia más bien *global* que local, pues lo que se incrementa con este tipo de explicaciones es la comprensión general del mundo y, en este sentido, constituirían un progreso, aunque Friedman no se refiere a ello (Véase Friedman, 1974, pp. 5-19).

“se debe tener en cuenta la *vía* que conduce de las premisas a la conclusión” (Moulines, 2011 [2008], p. 157).⁷

Los elementos básicos de este «patrón explicativo» comprenden:

- (i) Un conjunto de creencias K (supuestos o leyes aceptados por una comunidad científica);
- (ii) Un conjunto de “patrones” argumentales disponibles o de “esquemas” $E-(K)$;
- (iii) La capacidad de instanciación de $E-(K)$ en un sinnúmero de casos, pues los $E-(K)$ van acompañados de reglas de relleno que permiten establecer el número de instancias o ejemplares posibles del esquema o patrón argumentativo.

Kitcher, defensor del realismo ontológico, considera que esos «patrones» se dan en el mundo y que somos nosotros los que *abductivamente* los inferimos con miras a la explicación de eventos o hechos (véase Kitcher 2002, p. 92). Ellos son, a su vez, susceptibles de ser modificados, de suerte que el modelo kitcheriano permite dar cuenta de la dinámica de la ciencia, ya que los patrones argumentales disponibles o esquemas $E(K)$ puede ser cambiado en el tiempo, de suerte que un patrón puede ser reemplazado por otro nuevo si tiene más poder unificador.

Esta concepción kitcheriana de explicación aunque está planteada dentro del marco de la concepción enunciativista [*satetement view*] de las teorías se puede traducir en términos semánticos o modelísticos, [*modelistic or semantic view*] haciendo uso de la noción de *red teórica* y de la de la *subsunción modelo-teórica ampliativa*, en el caso del estructuralismo metateórico.

Thomas Bartelborth (1981, 1996), por su parte, destaca el carácter *unificacionista* de la explicación por *incrustación* [*embedding*] inter-modélica de un modelo potencial $M_{pp}(T)$ en un modelo actual $M(T)$, donde “ T ” es una teoría, tal como lo expresa la *aserción empírica* que acompaña a ésta. En este sentido, la incrustación e es una función de la forma: $e: M_{pp}(T) \rightarrow M(T)$. Esta *incrustación* —como dice Bartelborth (1996)— evita “el así llamado «chauvinismo deductivo» que obliga meter cada explicación en el lecho procustiano de una deducción lógica” (Bartelborth, 1996, p. 24), aunque —como vimos— la incrustación corresponde para Friedman a la subsunción de fenómenos bajo leyes.

Sin embargo, en el estructuralismo metateórico el primer paso fundamental para la unificación no es la incrustación de *un* solo modelo particular en un modelo actual, sino de *un conjunto de modelos potenciales* que presentan alguna homogeneidad, ya que todos pertenecen a una *especie de estructura* en el sentido de Bourbaki. Para Bartelborth (1996):

.....

⁷ Ante la pregunta “¿Por qué los miembros de los grupos G, G' tienen en común la propiedad P ?” el *patrón explicativo mínimo* es: (1) G, G' descienden de un antepasado común G_0 ; (2) Los miembros de G_0 tenían P ; (3) P es heredable; (4) Ningún factor intervino para modificar P a lo largo de las secuencias $G_0 - G, G_0 - G'$. Conclusión: (5) Los miembros de G y G' tienen P . El patrón consta de cinco enunciados (premisas) con *instrucciones de llenado*, tal que G, G', G_0 corresponden a grupos de organismos y P es un rasgo de organismo (Véase Kitcher, 2001 [1993], pp. 46, 121).

Los modelos de una especie de estructura tienen la misma estructura y los mismos conjuntos de base. Un conjunto de estructuras relacionales $M = \{ \langle \mathbf{D}, \mathbf{R} \rangle; \text{ con } \langle \mathbf{D}, \mathbf{R} \rangle = \langle D_1, \dots, D_n, R_1, \dots, R_k \rangle \}$ pertenecen a una *especie de estructura* si existe una estructura compleja tipo $k = \langle k_1, \dots, k_k \rangle$ tal que todo R_i pertenece al tipo k_i . (pp. 31-32)

De este modo, el que, por ejemplo, un conjunto de modelos potenciales $M_p(T)$ pertenezcan a una especie de estructura en el sentido antes indicado, contribuye a la unificación de teorías, como se evidencia en la noción de *red teórica* en la que todos sus modelos potenciales son descripciones *homogéneas* de sistemas físicos. Esta noción estructuralista de «red teórica» permite pensar las distintas incrustaciones de los distintos elementos teóricos especializados como la unificación, integración y sistematización de los diversos fenómenos particulares que corresponden a esos distintos elementos teóricos especializados T de la red N , proporcionando así valiosa información acerca de los distintos fenómenos particulares especializados. Los elementos interteóricos especializados de la red teórica, aunque distintos, poseen sus propias leyes especializadas, al igual que sus propias condiciones de ligadura y vínculos interteóricos especializados y los dominios de sus aplicaciones intencionales son más circunscritas y acotadas, dependiendo del grado de especialización. Todos esos elementos teóricos *especializados* de N , tienen con el elemento teórico básico de N una relación de orden parcial de *especialización*, de suerte que N es una estructura jerárquica y organizada de elementos teóricos T . En el caso de la mecánica clásica de partículas *MCP*, por ejemplo, todas sus aplicaciones intencionales I para ser modelos actuales o reales M de la *MCP* no solo deben estar conceptuados con el vocabulario básico de la teoría y satisfacer las tipificaciones y caracterizaciones (axiomas impropios), e.e, ser modelos potenciales $M_{pp}(MCP)$, sino, además, satisfacer el axioma propio o ley fundamental de las *MCP*, e.e, la segunda ley de Newton y alguna ley especial como la de Hooke, la de gravitación, la de Coulomb, etc.; leyes especiales de los distintos elementos teóricos especializados de N (*MCP*). Esta información y/o sistematización global contenida en N se encuentra en la *aserción empírica global*, pues ella es la conjunción de todas las aserciones empíricas particulares de los distintos T *especializados* de N . Así, si $N = \langle \{T_i\}, \sigma \rangle$ es una red nuclear (conectada, arbórea) entonces su *aserción empírica global* sería: $\forall \langle K, I \rangle \in \{T_i\}: I \in \text{Con}_{teo}(K)$, donde $\text{Con}_{teo}(T)$ es el contenido teórico de K , e.e., el conjunto de aplicaciones intencionales de cada $T(N)$ que pueden ser extendidas a un conjunto X de modelos potenciales, tale que X sea un conjunto de modelos T , pues extendidas mediante términos/funciones T -teóricas satisfacen las leyes, las condiciones de ligadura globales GC y los vínculos interteóricos globales GL de la red teórica N (Véase Balzer, Moulines & Sneed, 2012, pp. 234-237).

La explicación mecanística

La explicación mecanística, *EM*, incluye algunas de las características de los modelos anteriores, de manera especial los aportes de la *ERC* de Salmon. Su objetivo es proporcionar explicaciones causales «más profundas» que las explicaciones anteriores, e.e, explicaciones a *P*-preguntas mediante la exhibición y/o descripción mecanismo subyacente al fenóme-

no *explanandum*. La *EM* tiene numerosas aplicaciones como ya fue señalado, como es, por ejemplo, la explicación de los rasgos hereditarios de los organismos mediante mecanismos bio-químicos que dan cuenta de las interacciones básicas implicadas en el comportamiento de las moléculas de *ADN* y de *ARN* y en la síntesis de proteínas (Veáse Salmon, 1990, p. 13). Como lo reitera Salmon, se trata de explicar hechos a partir de hechos y no de explicar leyes a partir de leyes más generales como sucede cuando explicamos las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario a partir de la ley de gravitación, las de Ohm de la corriente eléctrica a partir de las leyes del electromagnetismo, las leyes de la genética clásica mendeliana de la transmisión proporcional (en términos de frecuencia relativa) de los rasgos (genotipos) y caracteres (fenotipos) de los padres o progenitores a su descendencia o progenie a partir de las leyes de la genética molecular, etc. En todas ellas —dirán los defensores de la *EM*— lo que se hace es hacer explícito el mecanismo subyacente que, como *explanans* explicaría el *explanandum*.

Para esta *EM*, cuando los sistemas *explananda* son complejos es necesario acudir a varios mecanismos combinados y en interacción, pues son todos ellos los que explican el *mantenimiento*, *transformación* o *desmantelamiento* del *explanandum*. Sus defensores se cuidan de identificarlo con la *END* y similares, pero también con el proceso de reducción interteórico de la «concepción heredada», tal como, por ejemplo, lo presenta Nagel (1991 [1961]), pues consideran que estas explicaciones y reducciones son insuficientes al no hacer explícitos los mecanismos causales subyacentes. Solo haciéndolos explícitos es posible responder satisfactoriamente a preguntas *por qué* y no a preguntas *cómo*, como suele ser frecuente cuando para la explicación se apela exclusivamente a leyes de coexistencia como la ley de Boyle (“ $PV = rT$ ”) o de sucesión como la las de Newton o a la ecuación de Schrödinger. Sin embargo, como es sabido, Newton y sus contemporáneos consideraban ilegítima cualquier pregunta acerca del *por qué* de la gravitación, así como del intento de dar respuestas *a priori* a este tipo de cuestiones (las famoso lema de *hipothese non fingo*), de suerte que su teoría no contendría ninguna explicación causal de los fenómenos gravitacionales; la ley de Boyle *sólo describe la relación entre la presión, la temperatura y el volumen, pero no la explica*, si por explicar entendemos en este caso proporcionar el *por qué* de dicha relación. Para ello sería necesario apelar a la teoría cinética de los gases donde se describe el mecanismo que subyace al comportamiento observable de los gases.

Los antecedentes de esta explicación se encuentran en los trabajos de Fodor, Simon, Kauffman y Cummins en los años sesenta y setenta del siglo pasado y, más recientemente, en los trabajos de Bechtel, Richarson, Glennan, Thagard, Machamer, Darden, Craver y Bunge, entre muchos otros. Desde finales de los años noventa y en lo que llevamos del s. XXI esta explicación ha adquirido especial relevancia por sus múltiples aplicaciones Su representación canónica más conocida es la de Craver (2007):

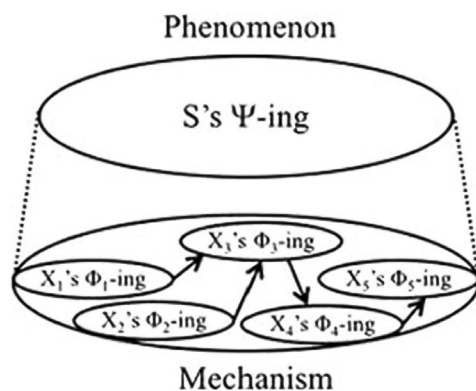


Figura 1. Tomada de Craver (2007).

En la parte superior está el fenómeno [*Phenomenon*] que pretendemos explicar (*explanandum*), e.e, algún sistema *S* comprometido que realiza una actividad o función ψ . En la parte inferior, el mecanismo [*Mechanism*] subyacente que *produce* y *mantiene* el fenómeno que se pretende explicar, *v. gr.*, el mecanismo división celular *produce* el crecimiento exponencial de la población bacteriana o el mecanismo homeostático de control de la temperatura mantiene la temperatura de los seres vivos dentro de ciertos rangos aceptables de normalidad.

Tal mecanismo (en singular) es un *todo* organizado y estructurado en el que las distintas partes o elementos relevantes para la explicación (las distintas *Xs*) interactúan entre sí para realizar, en una secuencia espacio-temporal, distintas funciones, acciones o actividades (las Φ s).⁸ Kauffman (1971) y Glennan (1996, 2002) argumentan que el mecanismo es siempre mecanismo de *un* fenómeno dado y, a diferencia de otros modelos de explicación, *éste* debe asegurar la *completa* caracterización del fenómeno *explanandum*. Es importante advertir que en este modelo las relaciones causales no se dan entre el mecanismo y el fenómeno *explanandum*, sino entre las partes del mecanismo. Para Illary y Williamson (2012) dicho mecanismo “consta de entidades y de actividades organizadas de tal manera que ellas son las responsables del fenómeno” (p. 120). Esto exige “encontrar y describir las entidades, sus actividades, y su organización por las que el fenómeno [*explanandum*] se produce” (p. 12); el mecanismo no es un mero agregado de partes, sino un todo organizado donde las acciones conjuntas de sus componentes exhiben el fenómeno *explanandum*, al punto de que “[n]o se pueden intercambiar indiscriminadamente las partes de un mecanismo sin perturbar el comportamiento del todo. Por lo general no se pueden agregar o quitar partes sin producir discontinuidades en el comportamiento del todo” (Craver, 2006, p. 373). Las partes o componentes del mecanismo lo son en virtud de su relevancia para el fenómeno *explanandum*.

.....

⁸ El término «función» es un término tomado de la biología y no de la matemática.

Es por ello que a las entidades (X_s) cuyas actividades resultan relevantes para la explicación mecanística Craver (2007) las denomina «componentes del mecanismo». Así, si queremos explicar *por qué* el ojo discrimina los colores es necesario conocer la estructura del ojo y seleccionar en esa estructura los componentes relevantes para aquello que pretendemos explicar (*explanandum*), las distintas actividades e interacciones (causales) que producen que el ojo discrimine los colores. Así describe Couch (2011) ese mecanismo:

Los investigadores han aprendido que (en lo que se refiere a los procesos del ojo) la información de la luz en el medio ambiente se pasa a través de la pupila e impacta los receptores retinales en la parte posterior del ojo (*i.e.*, los bastones y los conos). Los receptores retinales contienen diversas clases de moléculas de rodopsina [foto-receptores responsables de la absorción de la luz] que están químicamente estructurados para interactuar con la luz. La interacción de la luz con las moléculas de rodopsina *causa* una fotorreacción en las células receptoras que produce una señal neuronal que es enviada a través del nervio óptico en la parte posterior del ojo. Después de dejar el ojo, la señal neuronal se transmite a las partes apropiadas del cerebro para más procesamiento. La capacidad para la discriminación de colores es algo que los investigadores de la percepción quieren entender. Explicar cómo la capacidad es realizada lleva a los investigadores a interesarse por las partes del ojo que hacen esta capacidad posible. (pp. 376-377)

Si bien son muchos los elementos del ojo y sus actividades que podrían invocarse, no todos son relevantes para explicar la capacidad discriminatoria del ojo de los colores, pues no todos son necesarios para traducir la información de la luz del entorno en señales neuronales. Estos temas fueron ampliamente discutidos por Craver (2007) en el dominio de las neurociencias:

La explicación de una actividad de un sistema S procede por la identificación de subactividades [C_1, C_2, \dots, C_n] y las partes [P_1, P_2, \dots, P_n] que ellas tienen y cómo ellas son organizadas para permitir que el mecanismo realice la actividad. (Craver, 2007, p. 7)

Aunque inmensa mayoría de los defensores de la *EM* considera que tales explicaciones son causales, no se puede afirmar que entre ellos exista un consenso, máxime si aceptamos con Salmon (1984) que todas las explicaciones causales tienen involucran la *transmisión y propagación de marcas* o la *conservación de cantidades*, como en el caso de la conservación del momento cuando se produce un choque de partículas. Lo que sí podemos afirmar es que existen numerosos fenómenos en cuya explicación intervienen términos/conceptos teóricos cuya extensión son relaciones causales. Sin embargo, Craver (2007) contrargumenta que, en estos casos, las llamadas «explicaciones» son «supuestas explicaciones» *cómo* y no explicaciones *por qué*, pues lo único que buscan es complementar esas explicaciones al exhibir el mecanismo subyacente que esconden. Para Craver (2005) la reducción «interniveles» que tiene lugar en la *EM* no es una relación interteórica.

Él Se trata más bien de una relación parte-todo o mereológica, pues el *phenomenon* que pretendemos explicar (*explanandum*) como un todo está constituido de partes cada una de las cuales realiza una actividad y función específica y su sumatoria es el mecanismo propiamente dicho (*explanans*).

Aunque la *EM* tiene numerosas aplicaciones en ciencias particulares como ya se ha mencionado, también hay que reconocer que existen numerosas teorías científicas en ella no se aplica o no sería fácil aplicarla. Autores como Skipper y Millstein (2005) que, por ejemplo, cuestionan su aplicabilidad a la selección natural.

Sin embargo, para la explicación del fenómeno *explanandum* como el que modelo tipo de explicación mecanística propone Craver (2007) no basta solo con la descripción del mecanismo. Para dar cuenta del mecanismo como un todo (*explanans*) es necesario explicitar las leyes y teorías de base del mecanismo, pues son ellas las que, en últimas permiten explicar cómo funciona dicho mecanismo. Como es bien sabido, una teoría de la explicación no debe limitarse a describir el mecanismo que subyace al fenómeno o regularidad que nos interesa explicar. En el caso de las neurociencias —uno de los casos más socorridos por la *EM*— la explicación mecanística de los que fenómenos que ellas pretenden explicar apela a teorías como la fisiología celular y la biología molecular. Lo mismo podría pensarse cuando se trata de mecanismos relacionados con la cognición en el caso de la psicología cognitiva, donde la neurociencias resultan fundamentales. En este caso no se trata de adoptar una posición eliminativista, pues sin negar los fenómenos del nivel macro, se trata de explicarlos apelando a teorías más básicas., reconociendo su carácter emergente.

Esta forma de explicación constituye una forma de *reduccionismo moderado* en la que —como lo acabamos de indicar— se reconoce la existencia de propiedades emergentes, como sucede en el caso de la reducción interteórica aproximativa cuando los rasgos y caracteres hereditarios de un organismo se explican mediante mecanismos bioquímicos que dan razón de las interacciones o mecanismos básicos implicadas en el comportamiento del ADN y del ARN y en la síntesis de proteínas en la genética molecular. En este caso, la explicación reductiva sería entre dos teorías: la *genética clásica* que establece la distribución (en términos de frecuencias relativas) de ciertos caracteres o características (fenotipos) de dos progenitores con ciertos número de genes (genotipos) en su descendencia y la *genética molecular* que busca dar cuenta de lo anterior a través de la estructura y función de los genes a nivel molecular. Sin embargo, no se trata de un reducción de la biología a la química, pues la esta última no puede explicar las funciones y roles del ADN en una célula viva, dado que el concepto de «célula» es ajeno a la química.

Los casos que hemos mencionado de *EM* y muchos otros que sus defensores han investigado confirman lo anterior, pues si bien el mecanismo hace referencia a las relaciones puramente funcionales de las partes, su explicación resultaría incompleta si no se hace mención explícita de las leyes y de los distintos términos teóricos cuya extensión, en algunos casos, no en todos, tiene que ver con relaciones causales. En el caso específico de la explicación de la discriminación de los colores mencionado atrás, lo que se hace es

describir el mecanismo que subyace a dicho fenómeno (el fenómeno *explanandum*) para dar cuenta, mediante la *EM*, de los distintos colores perceptibles por el ojo humano generados en el cerebro de un observador, el cual recibe y procesa los distintos mensajes nerviosos enviados al cerebro a través del nervio óptico tras descomponer, gracias a las células fotorreceptoras de los conos y de los bastones, las distintas longitudes de ondas electromagnéticas de la luz recibidas. Este mecanismo resultaría ininteligible si no se hace mención de las teorías de base implicadas que son las que, en últimas, dan cuenta del *por qué* y no meramente del *cómo*. Las investigaciones han mostrado que los colores básicos percibidos y procesados por el cerebro son el rojo, el verde y el azul y son ellos los que permiten describir los demás colores que podemos percibir, dentro de los rangos anotados, pues la luz reflejada que llega del exterior estimula las células fotorreceptoras (conos y bastones) que se encuentran en la retina (centro o región fovea o periferia), dependiendo del grado de intensidad o luminancia (cantidad de luz) Pero aunque los conos y los bastones son las células responsables de nuestra visión cuando la cantidad de luz (luminosidad) es alta o baja respectivamente, es la rodopsina la rodopsina, encargada de sintetizar proteínas, la verdadera responsable de la absorción de la luz en las primeras etapas de la percepción, al activar numerosas reacciones enzimáticas y bioquímicas que inducen el cierre de canales catiónicos de la membrana celular. Así, la entrada de sodio provoca la despolarización en el fotorreceptor, manteniendo abiertos los canales de calcio que existen en el botón sináptico, lo que produce una liberación constante del neurotransmisor glutamato, hacia la célula bipolar. Todos estos procesos que tienen lugar en el nivel más bajo lo que hacen es convertir los paquetes de energía electromagnética conocidos como «fotones» o cuantos de luz, en señales eléctricas que el cerebro analiza y procesa y, todo, gracias al conjunto de células fotorreceptoras en el ojo y a la actividad molecular de ellas. Pero todo ese complejo mecanismo que la investigación científica puede describir con precisión, solo resultaría inteligible y el fenómeno de *explanandum* explicable, gracias al concurso de teorías básicas como las ya mencionadas.

Críticas y conclusiones

Quienes defienden la *EM* se han rehusado a proporcionar una definición en términos de condiciones suficientes y necesarias acerca de lo qué es un mecanismo, limitándose a ofrecer descripciones cualitativas de distintos mecanismos subyacentes de los que se valen los científicos para «explicar» lo que se busca «explicar». Pero como sabemos describir no es explicar y la explicación exige necesariamente subsumir aquello que queremos explicar [*explanandum*], ya sea bajo leyes, como ocurre en los modelos inferencialista clásico, causalista y unificacionista o la subsunción de aquellos fenómenos empíricos contenidos en el conjunto *I* de aplicaciones pretendidas de la teoría y que algunos llaman un «modelo de datos», pues son el resultado de la sistematización de los datos recogidos mediante la observación, la medición y en experimento, en un modelo teórico.

En estos casos, la explicación va más allá de la mera descripción y por ello es necesario que en la *EM* se haga mención explícita de las leyes y regularidades (deterministas o estocásticas) que hacen posible explicar el mecanismo mismo, algo que muchos de los defensores de la *EM* se rehúsan a hacer. que los defensores de la explicación mecanística no mencionan en sus descripciones.

Mario Bunge (2000 [1997]), defensor del *EM* se propone diferenciar la subsunción de la explicación por considerar que la primera solo responde a la pregunta «cómo», y, las segundas, a preguntas «por qué». Para el caso de la *subsunción* toma como referente exclusivo el modelo inferencialista clásico de Hempel y Oppenheim (1948), también conocido como «modelo nomológico-deductivo». Para el caso de la *explicación* su referente por excelencia es el modelo de explicación mecanística. Reconoce, sin embargo, que la diferencia entre *subsunción* y *explicación* no es lógica pues “ambas son deducciones que parten de enunciados que se refieren a regularidades [leyes] y circunstancias [condiciones antecedentes], en particular enunciados legales y datos” (p. 130). Sin embargo, plantea que la diferencia —como ya vimos— estriba en que la subsunción, al responder a preguntas del tipo «como» sólo se quedan en la mera descripción, mientras que la explicación, en su caso la *EM*, al responder a preguntas del tipo «por qué» proporciona una verdadera explicación. Para precisar lo anterior, presenta la forma lógica de los dos tipos de explicación, así:

- (i) Explicación por subsunción: $\forall x: \text{si } Px \text{ entonces } Qx; Pb \therefore Qb.$
- (ii) Explicación mecanística: $\forall x: \text{si } Px \text{ entonces } Mx; \forall x: \text{si } Mx \text{ entonces } Qx; Pb \therefore Qx,$ donde “*P*” simboliza lo que él llama la “pauta” que o bien puede ser una enunciado legaliforme ($\forall x: \text{si } Px \text{ entonces } Qx$) o clasificatorio, como cuando explicamos cierto rasgo de un organismo en términos de su pertenencia a cierto taxón y donde “*M*” simboliza algún mecanismo.⁹

Su conclusión es: que toda *explicación* [mecanística] es una *subsunción*, pero no toda *subsunción* es una explicación, pues la explicación, para responder a preguntas «por qué» —como es el caso de la *EM*— presupone más conocimiento (aspecto epistémico) y porque ella plantea la existencia (conjetural o en firme) del mecanismo subyacente (aspecto ontológico).

Pero de nuevo habría que decir que la sola *descripción* del mecanismo no es suficiente, pues para explicar algo se hace necesario explicitar la leyes o teorías que lo explican. Sin estas leyes y las teorías de base ellas es imposible dar cuenta del carácter explicativo del mecanismo.

.....
⁹ Un ejemplo de (ii) sería: Para todo x y t , si “ x denota una población de bacterias de la especie A en la condición B , entonces dicha población en un tiempo $t' = t + 20$ min. sería el doble de la población x en t , pues si N es la población inicial y t el número de periodos de 20 min, la ley de crecimiento sería: $N_t = N_0 2^t$ (Véase Bunge, 2000 [1997], pp. 129 ss.).

El estructuralismo metateórico proporciona a la *EM* las herramientas conceptuales y metodológicas que hacen posible que el mecanismo sea explicativo como lo pretende la *EM*, al proponer un mecanismo de subsunción modelo-teórica ampliativa, diferente del que se propone en el modelo de subsunción al que hace referencia Bunge y que se conoce «modelo nomológico-deductivo de explicación» y que responde a una concepción enunciativa de teoría que identifica las teorías con clases o conjuntos de enunciados cerrados respecto de la deducción.

La idea básica de la explicación que propone el estructuralismo es que explicar consiste en subsumir un fenómeno, en este caso, un sistema o modelo de datos, fruto de la observación, la medición, enriquecido o ampliado con funciones teóricas en un modelo teórico y, de ese modo, mostrar que hace parte del contenido teórico del núcleo *K* de la teoría, pues satisface sus constricciones formales, como son las condiciones de ligadura globales, *GC*, y vínculos interteóricos globales, *GL*.

Esto por supuesto, supone que la teoría de base del mecanismo es una teoría madura, como sucede, por ejemplo, con la teoría de redes neuronales que permite comprender los distintos mecanismos que explican la discriminación de los colores o la genética molecular que permite explicar los mecanismos del ADN y del ARN y de la síntesis de proteínas como sucede con la mutación genética como un cambio en una estructura de ADN o la mecánica estadística cuando explica la temperatura y sus cambios a que hace referencia la ley Boyle, como movimiento atómico o molecular aleatorio de las moléculas de una sustancia o de un gas.

En cualquier caso, la relación de explicación como subsunción o incrustación [*embedding*] de un sistema empírico, e.e., de un sistema (estructura) que ha sido descrito en términos de teorías previamente existentes (el estructuralismo habla de términos *T*-no teóricos) exige, para saber que es efectivamente modelo de la teoría, que ese sistema empírico descrito en términos de un vocabulario *T*-no teórico, sea enriquecido, extendido o ampliado con términos/funciones que son propios de la teoría (el estructuralismo los llama *T-teóricos*) y si así ampliado sea subsumido en el núcleo nómico *K* de constricciones de la correspondiente rama teórica. Solo así podemos decir que hemos explicado el *phaenomenon* de que habla Craver, e.e., que en él ocurre lo que el mecanismo describe, pero que la teoría de base explica o como suele decirse, que en él ocurre lo que la teoría dice que ocurre. Como bien dice Díez (2012): “Explicar un fenómeno particular consiste en subsumirlo en un modelo teórico *ampliado* en el marco de una red teórica” (p. 547).

Lo anterior, como se puede observar, va más allá de la mera descripción del mecanismo y muestra que el argumento de Bunge en contra de la explicación por subsunción comete la falacia del hombre de paja, pues la subsunción modeloteórica ampliada no es la del modelo nomológico-deductivo de Hempel-Oppenheim pensada para teorías que se conciben como clases de enunciados cerrados respecto de la deducción. Aunque hablamos de «subsunción», lo que se subsume es un modelo potencial parcial ampliado en un modelo teórico, dado que la subsunción o incrustación *e* es una función del conjunto de modelos potenciales en un conjunto de modelos actuales: $e: M_p \rightarrow M$. Además, las

relaciones que en la red teórica se dan entre sus componentes (elementos teóricos) de la red no son de deducción lógica, sino de especialización

Además, explicación por subsunción modelo-teórica ampliativa comparte el carácter unificacionista de Friedman y de Bartelborth pues los sistemas empíricos que conforman el conjunto de aplicaciones intencionales *I* de la teoría se explican en grupos y no independientes y, aunque cada elemento teórico tiene sus propias constricciones, éstas se integran con las de otros elementos de la red, al menos con el elemento teórico básico que contiene la ley fundamental. Con el modelo causal de Salmon, el modelo de explicación como subsunción teórica ampliativa comparte la posibilidad de explicaciones causales en aquellos casos en que los términos *T-teóricos* a que se apela para la explicación tienen como extensión relaciones causales.

Bibliografía

- Achinstein, P. (1983). *The Nature of Explanation*. Oxford University Press.
- Balzer, W., Moulines, C. U., & Sneed, J. D. (2012). *An Architectonic for Science. The structuralist Program*. D. Reidel Publishing Company. (v.e.: *Una arquitectónica para la ciencia. El programa estructuralista*, 2012 [P. Lorenzano, Trad.]. U. de Quilmes).
- Bartelborth, T. (1993). Hierarchy versus Holism: A Structuralist View on General Relativity. *Erkenntnis* 39(3), 383-412. <https://doi.org/10.1007/BF01128509>
- Bartelborth, T. (1996). Scientific Explanation. In W. Balzer & C. U. Moulines (Eds.), *Structuralist Theory of Science. Focal Issues. New Results* (pp. 23-43). Walter de Gruyter.
- Bartelborth, T. (2002). Explanatory Unification. *Synthese*, 130(3), 91-107. <https://doi.org/10.1023/A:1013827209894>
- Bromberg, S. (1962). An Approach to Explanation. In R. J. Butler (Ed.), *Analytical Philosophy. Second Series* (pp. 72-105). Basil Blackwell.
- Bunge, M. (1983). *La investigación científica*. Ariel.
- Bunge, M. (1999a). *Buscar la filosofía en las ciencias sociales*. Siglo XXI.
- Bunge, M. (1999b). *Las ciencias sociales en discusión*. Sudamericana.
- Bunge, M. (2000 [1997]). *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Siglo XXI.
- Couch, M. B. (2011). Mechanism and constitutive relevance. *Synthese*, 183(3), 375-388. <https://doi.org/10.1007/s11229-011-9882-z>
- Craver, C. F. (2001b). Role, Functions, Mechanisms and Hierarchy. *Philosophy of Science*, 68(1), 53-74. <https://doi.org/10.1086/392866>
- Craver, C. F. (2005). Beyond Reduction: mechanism, multifield integration, and the united of neuroscience. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36(2), 373-395. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.008>
- Craver, C. F. (2006). When Mechanistic Models Explain. *Synthese*, 153(3), 356-376. <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9097-x>

- Craver, C. F. (2007). *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*. Clarendon Press.
- Craver, C. F. (2012). Scientific Explanation: The ontic conception. In M. Hutteman & M. Kaiser (Eds.), *Explanation in the biological and historical sciences*. Springer.
- Craver, C., & Tabery J. (2019). *Mechanisms in Science* (E. N. Zalta & U. Nodelman, Eds.). The Stanford Encyclopedia of Philosophy. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2019/entries/science-mechanisms>
- Díez, J. A. (2002a). Explicación, unificación y subsunción. En W. Gonzalez (Ed.), *Diversidad de la explicación científica* (pp. 73-93). Ariel.
- Díez, J. A. (2002b). A program for the Individuation of Scientific Concepts. *Synthesis*, 130(1), 13-47.
- Díez, J. A. (2012). La explicación científica: causalidad, unificación y subsunción teórica. L. M. Peris-Viñé (Aut.), *Filosofía de la Ciencia en Iberoamérica: Metateoría Estructural* (pp. 517-556). Tecnos.
- Dowe, P. (1992). Wesley Salmon's Process Theory of Causality and the Conserved Quantity Theory. *Philosophy of Science*, 59(2), 195-216. <https://doi.org/10.1086/289662>
- Elster, J. (1989). *Nuts and Bolts for the Social Sciences*. Cambridge University Press. (v.e.: *Tuercas y Tornillos. Una introducción a los conceptos básicos de las ciencias sociales*, 2010. Gedisa). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812255>
- Fodor, J. (1968). *Psychological Explanation*. Random House.
- Forge, J. (1980). The Structure of Physical Explanation. *Philosophy of Science*, 47(2), 203-226. <https://doi.org/10.1086/288929>
- Forge, J. (1985). Theoretical Explanation in Physical Science. *Erkenntnis*, 23, 269-294. <https://doi.org/10.1007/BF00168294>
- Friedman, M. (1974). Explanation and Scientific Understanding. *The Journal of Philosophy*, 71(1), 5-19. <https://doi.org/10.2307/2024924>
- Gädhe, U. (1989). *Theorie und Hypothese*. Habilitationsschrift (unpublished). Bielefeld.
- Galavotti, M. C. (2022). *Wesley Salmon*. E. N. Zalta & U. Nodelman, Eds. (Fall 2018 Edition). The Stanford Encyclopedia of Philosophy. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/wesley-salmon/>
- Glennan, S. (1996). Mechanism and the nature of causation. *Erkenntnis*, 44, 49-71. <https://doi.org/10.1007/BF00172853>
- Glennan, S. (2005). Modeling mechanisms. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 36(2), 443-464. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.011>
- Hempel, C. G. (1965). *Aspect of Scientific Explanation*. Free Press.
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135-175. <https://doi.org/10.1086/286983>
- Illary, P. (2013). Mechanistic Explanation: Integrating the Ontic and Epistemic. *Erkenntnis*, 78, 237-255. <https://doi.org/10.1007/s10670-013-9511-y>
- Illary, P. M., & Williamson J. (2012). What is a Mechanism? Thinking about Mechanisms *Across the Sciences*. *European Journal for Philosophy of Science*, 2, 119-135. <https://doi.org/10.1007/s13194-011-0038-2>
- Kaplan, D. M., & Craver, C. F. (2011). The Explanatory Force of Dynamical and Mathematical Models in Neuroscience: A Mechanistic Perspective. *Philosophy of Science*, 78(4), 601-627. <https://doi.org/10.1086/661755>

- Kauffman, S. A. (1971). Articulation of Parts Explanation in Biology and the Rational Search for them. In R. C. Buck & R. S. Cohen (Eds.), *PSA 1970*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-010-3142-4_18
- Kitcher, P. (1976). Explanation, Conjunction and Unification. *The Journal of Philosophy*, 73(8), 207-212. <https://doi.org/10.2307/2025559>
- Kitcher, P. (1981). Explanatory Unification. *Philosophy of Science*, 48(4), 507-531. <https://doi.org/10.1086/289019>
- Kitcher, P. (1987). Van Fraassen on Explanation. *The Journal of Philosophy*, 84(6), 315-330. <https://doi.org/10.2307/2026782>
- Kitcher, P. (1989). Explanatory Unification and the Causal Structure of the Word. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Ed.), *Scientific Explanation* (pp. 410-505). University of Minnesota Press.
- Kitcher, P. (2001 [1993]). *Advancement of Science. Science without Legend, Objectivity without Illusions*. Oxford University Press. (v.e.: *El avance científico, Ciencia sin leyenda, Objetividad sin ilusiones*. UNAM).
- Lorenzano, P. (2007). Leyes fundamentales y leyes en biología. *Scientiae Studia*, 5(2), 185-214. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662007000200004>
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67(1), 1-25. <https://doi.org/10.1086/392759>
- Moulines, C. U. (2008 [2011]). *Die Entwicklung der moderner Wissenschaftstheorie (1890-2000)*. Verlag. (v.e.: *El Desarrollo moderno de la filosofía de la ciencia, 1890-2000* [X. de Donato, Trad.]. UNAM).
- Nagel, E. (1991 [1961]). *The Structure of Science*. Harcourt, Brace & World, Inc. (v.e.: *La estructura de la ciencia, 1991* [N. Míguez, Trad.]. Paidós).
- Newton, I. (1982). *Principios Matemáticos de la filosofía natural y su Sistema del Mundo* (A. Escotado, Trad.). Editora Nacional.
- Polger, T. W. (2010). Mechanism and explanatory realization relations. *Synthese*, 177(2), 193-212. <https://doi.org/10.1007/s11229-010-9841-0>
- Psyllis, I. (2013). Mechanistic Explanation: Integrating the Ontic and Epistemic. *Erkenntnis*, 78(Suppl. 2), 237-255. <https://doi.org/10.1007/s10670-013-9511-y>
- Rolleri, J. L. (2007). La teoría de la explicación causal de Salmon y la mecánica cuántica. *Crítica*, 39(116), 3-35. <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.2007.528>
- Salmon, W. (1977). Causality and Explanation: A Replay to Two Critics. *Philosophy of Science*, 64(3), 461-477. <https://doi.org/10.1086/392561>
- Salmon, W. (1984). *Scientific Explanation and the causal Structure of the Word*. Princeton University Press.
- Salmon, W. (1987). Probabilistic Causality. *Pacific Philosophical Quarterly*, 61(1-2), 50-74. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0114.1980.tb00004.x>
- Salmon, W. (1989). *Four Decades of Scientific Explanation*. University of Minnesota Press.
- Salmon, W. (1990). Scientific Explanation: Causation and Unification. *Crítica*, 22(66), 3-21. <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.1990.773>
- Salmon, W. (1998). *Causality and Explanation*. Oxford University Press.
- Stegmüller, W. (1983 [1973]). *Estructura y dinámica de teorías. Segundo tomo de Teoría y Experiencia*, (C. U. Moulines, Trad.). Ariel.

- van Fraassen, B. C. (1980). The Pragmatic of Explanation (Ch. 5 of *Scientific Image*). *American Philosophical Quarterly*, 14(2), 140-150. April 1977.
- van Fraassen, B. C. (1996 [1980]). *The Scientific Image*. Clarendon Press. (v.e.: *La imagen científica* (1996) (S. Martínez, Trad.). Paidós/UNAM).
- Wimsatt, W. C. (2014). Reductionism, Levels of Organization, and the Mind-Body Problem. In G. Globus, I. Savodnik & G. Maxwell (Eds.), *Consciousness and the Brain. Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts* (pp. 197-267). Plenum.