

# LA INDISPENSABILIDAD DE LAS LEYES EN CIENCIAS COGNITIVAS

---

## The indispensability of laws in cognitive science

SERGIO DANIEL BARBERIS ALMIRÓN\*

Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

sbarberis@filo.uba.ar

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5381-3772>

---

### Resumen

Partiendo de la distinción filosófica entre las leyes de la ciencia y las leyes de la naturaleza, en el presente artículo se defiende la indispensabilidad explicativa de las leyes de la ciencia en el campo de las ciencias cognitivas. Se sostiene que las leyes de la ciencia desempeñan un papel epistémico indispensable tanto en el análisis funcional como en la explicación mecanicista de las capacidades cognitivas. De esta manera, se ofrece una elucidación plausible del poder explicativo de las ciencias cognitivas en términos del papel epistémico de las leyes de la ciencia, suspendiendo el juicio, de manera prudente, respecto del controvertido estatus metafísico de las leyes naturales. Se pone en evidencia que tanto quienes defienden como quienes rechazan el compromiso ontológico con leyes causales intencionales presuponen que esas leyes no contribuyen a la explicación funcionalista ni mecanicista de los fenómenos que describen. Sin embargo, en el presente trabajo se argumenta, primero, que el análisis funcional requiere la especificación de leyes científicas no causales y, segundo, que la representación científica precisa de las actividades y de la organización dinámica de un mecanismo se despliega mayoritariamente, en el contexto de un modelo mecanicista, mediante la especificación de leyes científicas. La conclusión es que las leyes científicas (aunque no necesariamente las leyes de la naturaleza) desempeñan un papel indispensable en la explicación en ciencias cognitivas.

---

### Palabras clave

Cognitivismo, explicación, ley, mecanismo, dinámica, función.

**Forma sugerida de citar:** Barberis, Sergio (2021). La indispensabilidad de las leyes en ciencias cognitivas. *Sophia*, colección de Filosofía de la Educación, 30, pp. 95-123.

---

\* Doctor en Filosofía (Universidad de Buenos Aires). Investigador Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), en el Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, Departamento de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Quilmes. Jefe de Trabajos Prácticos de las materias 'Filosofía de las Ciencias', 'Historia de la Ciencia', 'Metafísica' y 'Filosofía de la mente' en el Departamento de Filosofía (UBA). Director del proyecto UBACyT: 'Reconstrucciones conceptuales en las ciencias biológicas: aplicaciones didácticas e implicaciones sociales'. Autor de publicaciones en revistas especializadas sobre filosofía de la ciencia cognitiva y filosofía e historia de la neurociencia.

### Abstract

Endorsing the philosophical distinction between laws of science and laws of nature, the present paper advocates for the explanatory indispensability of the laws of science in the field of the cognitive sciences. It is argued here that laws of science play an indispensable epistemic role both for functional analyses and mechanistic explanations of cognitive capacities. In this way, the paper provides a plausible explanation of the explanatory power of the cognitive sciences while wisely bracketing the controversial metaphysical status of natural laws. It is argued that both the advocates and the detractors of intentional causal laws presuppose that those laws contribute neither to functional nor mechanistic explanations of target phenomena. However, the present paper shows, first, that functional analysis requires the specification of non-causal, scientific laws, and second, that the precise scientific representation of the activities and the dynamical organization of some mechanism is generally deployed, in the context of a mechanistic model, by specifying scientific laws. The conclusion is that the laws of science (but not necessarily the laws of nature) play an indispensable role in cognitive scientific explanations.

### Keywords

Cognitivism, explanation, law, mechanism, dynamics, function.

96



## Introducción

Partiendo de la distinción filosófica entre las leyes de la ciencia y las leyes de la naturaleza, en el presente artículo se defiende la indispensabilidad explicativa de las leyes de la ciencia en el campo particular de las ciencias cognitivas. De acuerdo con van Fraassen, (1989), Swartz (1995) y Giere (1999), existe una distinción conceptual muy importante, muchas veces pasada por alto, entre las 'leyes de la naturaleza' o 'leyes físicas', por un lado, y las 'leyes de la ciencia' o 'leyes de los modelos', por el otro. Las leyes de la naturaleza son aquellas regularidades empíricas que gobiernan el mundo natural, con independencia de las representaciones científicas que se hagan de ellas; las leyes de la ciencia son aquellos principios básicos que son constitutivos de las teorías de las que forman parte y que estructuran buena parte de la práctica científica, tal como las describe Lorenzano (2007). En este artículo, se defiende una elucidación del poder explicativo de las ciencias cognitivas en términos de leyes de la ciencia, manteniendo cierta neutralidad respecto de la relación entre estas últimas y las leyes de la naturaleza. En otras palabras, se propone enfocar la explicación en ciencias cognitivas como un fenómeno epistémico, suspendiendo el juicio respecto del estatus metafísico de las leyes naturales.

La idea de la indispensabilidad explicativa de las leyes es clásica en filosofía de la ciencia, pertenece al canon del empirismo lógico. Con el resurgimiento de la filosofía mecanicista, en la década del 2000, varios/as filósofos/as mecanicistas (o cercanos/as a la filosofía mecanicista) rechazaron el canon clásico de la indispensabilidad epistémica de las leyes de la

ciencia. Autores como Bechtel y Abrahamsen (2005), Craver (2007), Kaplan y Craver (2011) han firmado, con mayor o menor vehemencia, que las leyes científicas no desempeñan ningún papel explicativo en los modelos funcionales/mecanicistas de una determinada capacidad cognitiva.

Los argumentos, si son exitosos, muestran que no hay leyes de la naturaleza en el ámbito biológico y cognitivo, pues en estos ámbitos solo se encuentran regularidades contingentes y mecanísticamente frágiles. Filósofos mecanicistas como Machamer, Darden y Craver (2000), Bechtel y Abrahamsen (2005) y Craver (2007) se oponen a la tesis según la cual explicación científica requiere la postulación de leyes de la naturaleza gobernando cada una de las actividades y la organización al interior de un mecanismo. Sin embargo, estos argumentos dejan abierta la posibilidad de que la representación científica precisa de las actividades y de la organización dinámica de un mecanismo, en el contexto de un modelo mecanicista, se despliegue mayoritariamente mediante la especificación de los principios o las leyes científicas y que, además, sean estas últimas las que carguen con gran parte de la carga explicativa.

El presente documento está estructurado en tres secciones. En la primera sección se reconstruye el debate en filosofía de la mente y de las ciencias cognitivas acerca de la existencia y la naturaleza de las leyes causales intencionales. En la segunda sección se defiende la tesis de que el análisis funcional, como pauta explicativa, solo es incompatible con la relevancia de leyes causales, pero no con la relevancia de las leyes científicas en general. En la tercera sección, se desarrolla un argumento en favor de la indispensabilidad epistémica de las leyes científicas en la explicación mecanicista. Para finalizar se presenta las principales conclusiones de la investigación.

## El debate sobre las leyes causales intencionales

En la década de los 90, el debate acerca del estatus de las leyes en ciencias cognitivas estuvo enmarcado en una discusión metafísica más amplia acerca de la plausibilidad del ‘realismo intencional’. El realismo intencional se propone reconciliar dos tesis metafísicas en filosofía de la mente. Por un lado, los realistas intencionales afirman que existen estados mentales con contenido semánticamente evaluable; que esos estados mentales sean semánticamente evaluables quiere decir que tienen condiciones de satisfacción. Por ejemplo, el contenido de la creencia de Sofía de que la nieve es blanca será verdadero o falso de acuerdo con el color de la nieve en el mundo. Por otro lado, como señala Skidelsky (2003), el realista in-

tencional sostiene la tesis de que tales estados intencionales tienen un rol causal en la producción de la conducta y de otros estados intencionales.

Jerry Fodor (1991;1994), en su reivindicación del realismo intencional, argumenta a favor de la relevancia causal de los estados intencionales mediante una defensa de la tesis según la cual existen ‘leyes intencionales causales’ que subsumen propiedades intencionales (i. e. ser semánticamente evaluables) en tanto tales:

Las generalizaciones típicamente intencionales podrían ser de la forma: “Si Ud. quiere, y cree que no puede a menos que haga, entonces, *ceteris paribus*, Ud. intentará hacer”. Por ejemplo, si Ud. quiere *hacer un omelette*, y cree que no puede hacerlo a menos que *rompa algunos huevos*, entonces, a igualdad de condiciones, intentará hacer una acción que *sea el rompimiento de los huevos* (Fodor, 1994, p. 4).

98



La cláusula *ceteris paribus* que se menciona en la cita es indispensable para la formulación de la ley pues, de otra manera, la pretendida ley sería falsa. Retomando el ejemplo de Fodor, podría ser el caso que una persona, debido a algún impedimento neuropsicológico en la integración de la información, no intente ninguna acción que sea el rompimiento de huevos a pesar de que desea hacer un omelette y de que cree que no puede hacerlo a menos que rompa algunos huevos. Todas las generalizaciones intencionales admiten excepciones de este tipo. La incorporación de cláusulas *ceteris paribus* en la formulación de leyes científicas, sin embargo, es una fuente frecuente de malestar filosófico, pues amenaza con trivializar el contenido de la ley. Fodor considera que la inclusión de tales cláusulas en las leyes intencionales causales (y en las leyes de las ciencias especiales en general) no es problemática, pues es posible completar el antecedente del enunciado de la ley explicitando las condiciones perturbadoras subsumidas bajo la cláusula *ceteris paribus* mediante los conceptos de alguna teoría más básica:

Las excepciones a las generalizaciones de una ciencia especial son típicamente inexplicables desde el punto de vista de (esto es, en el vocabulario de) esa ciencia. Esa es una de las cosas que la vuelve una ciencia especial. Pero, por supuesto, puede ser perfectamente posible explicar esas excepciones en el vocabulario de alguna otra ciencia (...) [N]o tenemos razones para dudar de que [las cláusulas *ceteris paribus*] pueden descargarse en el vocabulario de alguna ciencia de nivel inferior (digamos la neurología, la bioquímica; en el peor de los casos, la física) (Fodor, 1987, p. 6).

Una ley intencional causal del tipo avizorado por Fodor tendría la forma: ‘Los *M* causan *B ceteris paribus*’, donde *M* es una propiedad psico-

lógica, mental o intencional. A la descripción del antecedente  $M$  en el vocabulario de alguna teoría relativamente más básica Fodor la denomina un ‘realizador’ de  $M$ . Puesto que  $M$  es una propiedad psicológica (funcional), quienes participan del debate aceptan que se trata de una propiedad realizable múltiplemente: cada propiedad funcional puede estar realizada en distintas propiedades físicas  $R_1, \dots, R_n$ . Cada una de estas propiedades físicas no puede causar  $B$  por sí sola; en cada caso, resulta indispensable agregar alguna condición física  $C$  que, juntamente con la primera, sea suficiente para producir  $B$ .

Fodor (1991) define que la condición  $C$  es un ‘completador’ relativo a la realización de  $M$  por medio de la propiedad física  $R_i$  si y solo si:

- i.  $R_i$  y  $C$  son estrictamente suficientes para  $B$ ;
- ii.  $R_i$ , considerada aisladamente, no es estrictamente suficiente para  $B$ ;
- iii.  $C$ , considerada aisladamente, no es estrictamente suficiente para  $B$

Dada esta terminología, la ley ‘Los  $M$  causan  $B$  *ceteris paribus*’ es verdadera si y solo si, para cada realizador  $R_i$  de  $M$ , existe un completador  $C_i$  tal que  $R_i$  &  $C_i$  causan  $B$ .

En franca oposición con la posición de Fodor, Schiffer (1991) considera que, aún cuando enunciados del tipo ‘Los  $M$  causan  $B$  *ceteris paribus*’ expresen proposiciones verdaderas, estas no refieren a leyes naturales propiamente psicológicas. Por un lado, no se trata de leyes psicológicas porque el lado derecho del bicondicional: ‘para cada realizador  $R_i$  de  $M$ , existe un completador  $C_i$  tal que  $R_i$  &  $C_i$  causan  $B$ ’ implica que la condición  $R_i$  &  $C_i$  que no requiere vocabulario intencional o psicológico, sea nómicamente suficiente para la ocurrencia de  $B$ . Además, si se tiene en cuenta el fenómeno de la realizabilidad múltiple de  $M$ , queda claro que es nómicamente posible que haya un realizador  $R_i$  de  $M$  que no tenga completador y que, por lo tanto, no cause  $B$ . En otras palabras, las generalizaciones intencionales *ceteris paribus* admiten excepciones absolutas, por lo que no pueden ser verdaderas o, en caso de serlo, serían trivialmente verdaderas.

En su respuesta a esta objeción de Schiffer, Fodor (1991) concede, en primer término, que es nómicamente posible que un realizador  $R_i$  de  $M$  no cause  $B$ . Sin embargo, si  $R_i$  es efectivamente un realizador de  $M$ , es conceptualmente imposible que  $R_i$  no instancie alguna de las leyes de la red causal que define a la propiedad funcional  $M$ . Aunque  $R_i$  sea una excepción absoluta a ‘Los  $M$  causan  $B$  *ceteris paribus*’, no puede constituir una excepción absoluta a toda ley de la forma ‘Los  $M$  causan  $X$  *ceteris*



*paribus* que forme parte de la red que define el rol causal de la propiedad *M*. Para Fodor, las leyes causales intencionales son legítimas en la medida en que no poseen excepciones absolutas para toda la red.

Diana Pérez (1995) objeta este argumento de Fodor señalando que, si se admite que ‘Los *M* causan *B ceteris paribus*’ pueda tener al menos una excepción absoluta, esto es, que sea nómicamente posible que un realizador  $R_i$  no entre en conexión causal con alguna instancia de *B*, entonces no queda claro en qué sentido las propiedades *M* y *B* están conectadas causalmente, pues no solo no habría conjunción constante entre las instancias de *M* y *B* (y Fodor ya admitió que no se trata de leyes probabilísticas) sino que la pretendida ley natural no ofrecería soporte a enunciados contrafácticos del tipo: ‘Si esto fuera un *M*, causaría un *B*’.

Hasta aquí, se ha ofrecido una breve reseña de los problemas que aquejan a la defensa, por parte del realista intencional acérrimo, de la existencia de leyes psicológicas *ceteris paribus*. Cabe destacar que se trata de un debate primariamente metafísico acerca del estatus de las leyes naturales psicológicas. Ahora bien, en el contexto de este artículo, se destaca una cuestión diferente: ¿Qué papel epistémico debe atribuirse a estas leyes intencionales en el contexto de la explicación en ciencias cognitivas?

Tanto Schiffer (1991) como Fodor (1991) parecen interesados en las generalizaciones de la psicología de sentido común. En el caso de Schiffer (1991), le interesan generalizaciones del tipo:

Si *x* desea *p* y cree que (*p* si *x* hace *A*) y *x* tiene las creencias correctas acerca de cómo hacer *A* y *x* es capaz de hacer *A* y *x* no tiene otro deseo más fuerte en competencia, entonces, *ceteris paribus*, *x* hace *A*” (p. 11).

Fodor (1991) comparte el mismo interés por las generalizaciones de la psicología de sentido común cuando afirma que “las explicaciones/predicciones intencionales de sentido común son (al menos implícitamente) y al menos de vez en cuando, una especie de explicación/predicción por subsunción bajo leyes” (p. 20).

Sin embargo, como señala el propio Fodor (1991), la reconstrucción de las pautas explicativas de la psicología de sentido común no es el único proyecto filosófico que está interesado en las leyes psicológicas (ni el más importante, me permito agregar). En lo que respecta a la estructura de las explicaciones en ciencias cognitivas, Fodor no parece asignarles a las leyes intencionales un papel fundamental. Me permitiré citar *in extenso* un pasaje clave al respecto:

[E]s una ley que la luna nos parece más grande en el horizonte que por encima de nuestras cabezas; y se trata de una ley *intencional* porque in-



voca ineliminablemente relaciones como “parecernos”. La ciencia cognitiva busca una explicación computacional de esta ley intencional; busca (p. ej.) un algoritmo que mapee arreglos visuales proximales y juicios perceptivos, de tal manera que las clases de arreglos visuales proximales que son causados por mirar a la luna cuando está cerca del horizonte faciliten de manera fiable una sobreestimación del tamaño (...) Si no hubiera generalizaciones contingentes y confiables acerca de las relaciones entre los arreglos proximales y los juicios perceptivos de tamaño —si no fueran, en pocas palabras, leyes intencionales— entonces los modelos computacionales no tendrían nada que explicar (Fodor 1991, p. 20).

Este ejemplo de Fodor ilustra, en primer lugar, cómo el autor oscila entre dos caracterizaciones distintas de la ley intencional en cuestión. Según la primera caracterización, puramente *folk* o de sentido común, la ley establece que los mismos objetos parecen ser más grandes en el horizonte que sobre la cabeza. La segunda caracterización es cognitiva (en particular, computacional): la ley vincula (causalmente) ciertos arreglos de estímulos visuales proximales con ciertas estimaciones perceptivas del tamaño de los objetos distales. Podría pensarse que se trata de dos formulaciones distintas de una misma ley natural. Sin embargo, hay buenas razones para pensar que se tratan de dos leyes distintas. La primera ley vincula ciertas condiciones espaciales con los juicios perceptivos de un individuo; la segunda ley especifica una actividad o interacción causal entre las ‘partes’ de un subsistema computacional del individuo. Así, en los términos de Dennett (1969) y Skidelsky y Pérez (2005) mientras la primera es una ley en el nivel personal, la segunda es una ley en el nivel subpersonal.

En segundo lugar, la cita pone en evidencia cuál es el papel que Fodor atribuye a las leyes intencionales en las pautas explicativas, no ya del sentido común, sino de las ciencias cognitivas. Resulta curioso que, si bien las leyes intencionales son fundamentales desde el punto de vista metafísico para el realismo acerca de los estados intencionales, no parecen serlo desde el punto de vista explicativo. Fodor (1991) afirma: “las (supuestas) leyes intencionales proveen la agenda para la modelización computacional” (p. 20). Si este es el caso, entonces las leyes psicológicas constituyen más bien el *explanandum* de una explicación en ciencias cognitivas, aquello de lo cual debe darse cuenta y explicarse mediante el despliegue de modelos computacionales.

Fodor parece estar concediendo demasiado al ‘enemigo de las leyes psicológicas’. De hecho, la irrelevancia explicativa de las leyes *ceteris paribus* para las explicaciones en ciencias especiales forma parte de la principal objeción que Schiffer (1991) esgrime en contra de la existencia de tales leyes:



Cuando *yo* leo [textos de] biología, me cuesta mucho encontrar algo que parezca una explicación que invoque leyes, y creo que sé por qué. Supongamos que Ud. inventó una ratonera que se activa con un resorte y tuvo que explicar *cómo funcionaba*. Ud. diría que, cuando la máquina funciona, es porque un ratón mordisquea el queso puesto en un mecanismo disparador; el movimiento causado por el mordisqueo dispara una barra acoplada a un resorte estirado; etc. Pero no mencionaría ninguna ley. Quizá si continuara la explicación mediante una cadena causal lo suficientemente larga, llegaría a leyes; pero serían leyes de la física, no leyes acerca de la teoría de las ratoneras. De la misma manera, la mayor parte de la biología se ocupa de explicar cómo funcionan varios mecanismos —piense en la explicación de la fotosíntesis— y parece que esas explicaciones no invocan leyes biológicas, ni estrictas ni *ceteris paribus* (p. 16).

102



Una consecuencia inesperada, entonces, de la controversia sobre las leyes intencionales parece ser que estas leyes, aun si existen en el mundo, no desempeñan ningún papel explicativo en ciencias cognitivas, como señala Skidelsky (2003). En el mejor de los casos, ofrecerían una nueva descripción de fenómeno *explanandum*. Por supuesto, descubrir estas leyes intencionales no sería un trabajo trivial, pero, aun así, no tendrían un peso sustantivo en la explicación de los fenómenos que se proponen explicar los científicos cognitivos. Esta perspectiva sobre la irrelevancia explicativa de las leyes en ciencias cognitivas cristaliza en la concepción canónica de la explicación cognitivista, a saber, la propuesta del *análisis funcional* de Robert Cummins (1975; 1983; 2000). Se analiza esta propuesta en la siguiente sección.

## El análisis funcional y la relevancia explicativa de las leyes no causales

Especialmente en el caso de las ciencias cognitivas, muchos/as filósofos/as aceptan la propuesta de Cummins (2000) según la cual la pauta explicativa de las ciencias cognitivas es el análisis funcional, y que este análisis no requiere la identificación de leyes científicas en el *explanans*. A continuación, se muestra que Cummins sobredimensiona el alcance de la tesis que postula, en la medida en que sus resultados solo se aplican a la irrelevancia de las ‘leyes causales’ para el análisis funcional. De hecho, su presentación más completa de la estructura del análisis funcional pone de manifiesta la indispensabilidad (al menos, epistémica) de otros tipos de ‘leyes científicas no causales’ para la explicación.

La conclusión de la sección anterior, en gran medida implícita en el debate acerca de las leyes intencionales, es explícitamente defendida por Cummins (2000). Según este filósofo, las pautas explicativas de las ciencias cognitivas no deben interpretarse en términos de la concepción nomológico-deductiva de la explicación de Hempel (1965). Las leyes causales psicológicas no desempeñan la función de explicar los fenómenos conductuales o psicológicos que subsumen, sino que, en todo caso, redescubren esos fenómenos de una manera más general.

¿Explica la Ley de Efecto por qué alimentar a una paloma cada vez que picotea una palanca incrementa la frecuencia de picoteos? ¿O simplemente repite el fenómeno en términos generales? La moraleja correcta aquí es que la Ley del Efecto es un *explanandum*, no un *explanans* (...) En ciencia, cuando a una ley se la piensa como un *explanandum*, se la llama un “efecto” (...) Nadie piensa que el efecto McGurk explica los datos que subsume. Nadie que acepte el modelo [nomológico-deductivo] supondría que se puede explicar por qué alguien escucha una consonante como la que parece pronunciar la boca que está hablando, apelando al efecto McGurk. Ése es el efecto McGurk (Cummins, 2000, p. 119).

Según este autor, cuando se piensa a las leyes causales psicológicas como *explananda*, se las denomina *efectos*. Así como, para Fodor (1991), las leyes intencionales constituían aquello a explicar mediante modelos computacionales, Cummins (2000) concibe a los efectos psicológicos como leyes *in situ* que especifican los patrones de conducta de distintos mecanismos. ¿Qué quiere decir que los efectos sean leyes *in situ*? No se trata sino de otra manera de señalar que no son leyes naturales estrictas, i. e., leyes que valgan para todos los objetos en todo tiempo y espacio, sino que especifican patrones de conducta regulares que solo valen para una clase especial de sistema, debido a la constitución y organización peculiar de ese sistema.

Según Cummins (2000), las leyes *in situ* tampoco desempeñarían un papel indispensable en la especificación del *explanandum*, pues aquello que se busca explicar en ciencias cognitivas no son leyes acotadas sino capacidades determinadas de un sistema: por ejemplo, la capacidad humana para percibir profundidad, para aprender un lenguaje, para planificar, para predecir el futuro, para entender estados mentales de otros, etc. Estas capacidades pueden pensarse como propiedades disposicionales complejas de los sistemas. Estas propiedades disposicionales se especifican usualmente mediante enunciados condicionales subjuntivos del tipo: “*x* es soluble en agua si y solo si (si *x* se pusiera en agua, entonces, *ceteris paribus*, *x* se disolvería en agua)” (Cummins 1983, p. 18). Este análisis pone de manifiesto que, para un sistema determinado, tener una pro-

riedad disposicional tal o cual es satisfacer tal o cual ley *in situ*. Es en ese sentido que Cummins (2000) afirma que las capacidades y los efectos son ‘parientes cercanos’. Sin embargo, no está dispuesto a sostener que siempre pueda especificarse una capacidad mediante un conjunto de leyes no estrictas, pues muchas de las regularidades que llamamos ‘efectos’ en psicología son, de hecho, incidentales al ejercicio de alguna capacidad, i. e., meros epifenómenos.

El problema con este argumento de Cummins es evidente. Que existan leyes *in situ* que describan efectos incidentales al funcionamiento normal de una capacidad no quiere decir que aquellas regularidades que efectivamente gobiernan el funcionamiento normal (y que, por tanto, forman parte del *explanandum* de una explicación cognitiva) no puedan recogerse mediante leyes *in situ*.

Al igual que Schiffer (1991), Cummins reconstruye las pautas explicativas de las ciencias especiales como consistiendo en el desarrollo de teorías o modelos científicos acerca de la estructura funcional y constitutiva de los ‘mecanismos’ que subyacen a los efectos o leyes *in situ* de los sistemas que forman parte del ámbito de cada una de esas ciencias. Para este autor, al menos en su artículo del (2000), el análisis funcional de un sistema no requeriría la descripción de ninguna ley natural.

¿En qué consiste el análisis funcional de una capacidad? Según Cummins (2000), el análisis funcional consiste en analizar una disposición compleja de un sistema en un número de disposiciones ‘menos problemáticas’, de tal manera que la manifestación programada de estas disposiciones analizantes resulte en manifestación de la disposición analizada. Por ‘programada’ entiende “organizada de modo tal que pueda especificarse en un programa o en un diagrama de flujo” (Cummins 2000, p. 125). Dada esta caracterización, en principio puede ofrecerse un análisis funcional de cualquier capacidad. Sin embargo, el interés explicativo de un análisis funcional será directamente proporcional a: (i) el grado en el cual las capacidades analizantes son menos sofisticadas que la capacidad analizada; (ii) el grado en el cual las capacidades analizantes son de tipos diferentes al tipo de la capacidad analizada; (iii) el grado de sofisticación relativa del programa al que se apela, esto es, la complejidad relativa de la organización de los componentes que se atribuyen a la capacidad.

En los casos más simples (por ejemplo, en la explicación de cómo funciona una cinta de montaje), el análisis funcional de la disposición global acompaña, de manera evidente, al análisis componencial del sistema. El análisis funcional no tiene por qué ser componencial, tanto la capacidad analizada como las capacidades analizantes pueden atribuirse al sistema



como una totalidad. El análisis componencial, en cambio, identifica las partes concretas del sistema analizado, por ejemplo, aquellas que desempeñan las funciones individuadas en el análisis funcional. Para Cummins (2000), esta correspondencia directa entre estructuras concretas y funciones está ausente en los casos de sistemas relativamente más complejos, como lo son la mayoría de los sistemas cognitivos. En estos últimos, no existe una correspondencia directa entre las funciones identificadas, por ejemplo, mediante un modelo computacional, y las partes concretas del cerebro estudiadas por la neurobiología (véase Weiskopf, 2011). Es por esta razón que Cummins considera importante mantener el análisis funcional y el análisis componencial como siendo conceptualmente distintos.

Se ha presentado sucintamente la caracterización del análisis funcional de Cummins (2000) y sus razones para pensar que ciertas leyes *in situ* pueden desempeñar el papel de *explananda* en una explicación en ciencias cognitivas. Ahora bien, ¿qué razones ofrece Cummins para pensar que el análisis funcional no requiere la identificación de leyes científicas?

Resulta, al menos, llamativo que, en su artículo del 2000, simplemente dé por sentado que el análisis funcional no necesita de las leyes científicas. En el libro de 1983, en cambio, es mucho más prudente y preciso en la formulación de sus tesis. Allí afirma explícitamente que el análisis funcional no requiere la especificación de *leyes causales*, por ejemplo, correlaciones nómicas cuyas instancias son pares de causa-efecto (Cummins 1983). Sin embargo, como él mismo se encarga de destacar, no todas las leyes científicas son leyes causales.

De particular interés resultan tres tipos de leyes que Cummins (1983) caracteriza como no causales. Primero, las ‘leyes de composición’, que especifican el análisis de un tipo específico de sistema; por ejemplo, las moléculas de agua están compuestas de dos átomos de hidrógeno ligados a un átomo de oxígeno y el modelo de doble hélice del ADN. Segundo, las ‘leyes de instanciación’, que especifican cómo una propiedad está instanciada en un tipo específico de sistema; un ejemplo de una ley de instanciación vendría dado por la ley de Boyle-Mariotte, según la cual la temperatura está instanciada en un gas como la energía cinética media de las moléculas del gas. Por último, las ‘atribuciones nómicas’, que afirman que todos los  $x$  tienen una cierta propiedad  $P$ ; por caso, la ley de gravitación en la teoría de la relatividad general.

Pues bien, según Cummins (1983), siempre que se tenga claro que no toda ley científica es una ley causal, resulta aceptable representar la estructura del análisis funcional mediante un esquema en el cual participan, de manera esencial, leyes no causales:

*Análisis Funcional [AF]*

- (1) Cualquier sistema que posea los componentes  $C_1, \dots, C_n$  organizados de la manera  $O$  –i. e., que tenga el análisis  $[C_1, \dots, C_n, O]$ – posee la propiedad  $P$ .
- (2)  $S$  tiene el análisis  $[C_1, \dots, C_n, O]$
- (3) Por lo tanto,  $S$  tiene la propiedad  $P$ .

La conclusión (3) del esquema AF es una atribución nómica. La premisa (1) recoge una ley de instanciación (en el sentido antes especificado), mientras que la premisa (2) recoge una ley de composición. Esta presentación alternativa de la estructura del análisis funcional pone de manifiesto que la tesis de la irrelevancia explicativa de las leyes científicas en su artículo del (2000) está presentada, cuanto menos, de manera ambigua. Todo lo que muestran los argumentos allí desarrollados es que el análisis funcional no requiere la identificación de leyes causales, aunque exige la identificación de leyes (no causales) de instanciación y de composición.

¿Qué motivaciones se tienen para pensar que las leyes de composición son, efectivamente, leyes científicas? Una motivación filosófica detrás de esta clasificación es la siguiente. Los sistemas complejos respecto de los cuales un análisis funcional puede resultar informativo son sistemas robustos, es decir, son sistemas cuyo funcionamiento y organización no es completamente efímero o circunstancial, sino que exhibe una regularidad característica, no necesariamente determinista, que resulta crucial para la explicación de las leyes *in situ* de nivel superior (aquellas que caracterizan el comportamiento del sistema como un todo). Por lo tanto, las especificaciones de la organización de los componentes de un sistema son, ellas mismas, legaliformes, como señala Cummins (1983):

[U]n análisis exitoso arroja una ganancia explicativa cuando nos permite darnos cuenta de que un objeto que tenga la clase de componentes especificados, organizados de la manera especificada, está obligado a tener la propiedad que se busca explicar (p. 17)

En el caso del estatus de las leyes de instanciación, la cuestión es más compleja, según Cummins, pues estas leyes son principios derivados que requieren, ellos mismos, una explicación. Esto quiere decir que el análisis  $[C_1, \dots, C_n, O]$  no puede ofrecer, por su cuenta, la explicación completa (o definitiva) de la atribución nómica que figura en la conclusión de AF. Específicamente, las capacidades  $C_1, \dots, C_n$  deben explicarse, a su vez, mediante las propiedades de las partes reales del sistema, aquellas en las



cuales estas capacidades se encuentran, a su vez, instanciadas. En otras palabras, la única pauta disponible para explicar una ley de instanciación consiste en ‘derivarla’ a partir de las atribuciones nómicas que especifican las propiedades de los componentes del sistema, en términos de Cummins (1983). Una explicación completa de una capacidad debe exhibir los detalles de la instanciación física de las capacidades analizantes en el sistema que las contiene. En el caso especial de las ciencias cognitivas, Cummins (2000) afirma que:

La neurociencia entra en esta imagen [de la explicación] como una fuente de evidencia, arbitrando entre [los análisis funcionales] en competencia y, en última instancia, como la fuente de una explicación de la realización biológica de los sistemas psicológicos descritos funcionalmente (p. 135).

De esta manera, se ve cómo distintos tipos de leyes científicas no causales (atribuciones nómicas, leyes de composición y leyes de instanciación) desempeñan un papel fundamental en la construcción de una explicación completa de los efectos psicológicos. La propuesta de Cummins no distingue explícitamente entre leyes de la naturaleza y leyes de la ciencia, pero no parece problemático formular su tesis en términos epistémicos, como afirmando que ciertos tipos (no causales) de leyes o principios de la ciencia desempeñan una función explicativa en el contexto del análisis funcional.



## El mecanicismo y el argumento de la indispensabilidad epistémica de las leyes

Indudablemente, filósofos/as mecanicistas canónicos como Machamer, Darden y Craver (2000) y Craver (2007) no consideran que el concepto tradicional de ‘ley científica estricta’ tenga utilidad alguna en la reconstrucción de las pautas explicativas de la neurobiología, las neurociencias o las ciencias cognitivas. Muy pocas, si alguna, de las generalizaciones que aparecen en las ciencias biológicas son ‘estrictas’, en el mismo sentido en el que tradicionalmente se consideraba que lo eran las leyes de la mecánica newtoniana. Las leyes estrictas son universales, generales, no son vacuamente verdaderas, no tienen excepciones, son proyectables y son nómicamente necesarias, tal como resume Leuridan (2010). Las generalizaciones de las ciencias biológicas, en cambio, tienen un alcance limitado, son estocásticas, mecanísticamente frágiles e históricamente contingen-

tes, caracterización en la que coinciden Beatty (1995), Weber (2005) y Craver (2007).

Craver (2007) ilustra estas características de las generalizaciones biológicas con un ejemplo tomado de las neurociencias: el fenómeno de la potenciación de largo plazo (*long-term potentiation* o LTP). El fenómeno de la LTP puede caracterizarse como un incremento en la eficiencia sináptica en una población de neuronas post-sinápticas como resultado de la aplicación de una secuencia de estímulos en neuronas pre-sinápticas. En particular, este fenómeno involucra: (i) un incremento en la amplitud del potencial excitatorio de cada neurona post-sináptica; (ii) un incremento en la amplitud de los potenciales de la población como totalidad; (iii) una reducción en la latencia de tales potenciales. Pues bien, en primer lugar, la LTP, *qua* regularidad natural, tiene un alcance limitado. No es un rasgo de todas las células, ni de todas las sinapsis químicas; cambia de organismo en organismo, de una región cerebral a otra, etc. En segundo lugar, es una generalización estocástica. Hoy en día, los científicos logran inducir una LTP, en aproximadamente, el 50% de los casos. En tercer lugar, LTP es mecánicamente frágil, su manifestación puede variar e incluso impedirse debido a alternaciones en el estímulo, en las condiciones de trasfondo o en los componentes del mecanismo subyacente. Por último, el fenómeno de la LTP es físicamente contingente. Es, como afirma Beatty (1995), el producto de las contingencias de la historia evolutiva de ciertos organismos. Hubo un tiempo en el cual ningún organismo en el mundo manifestaba LTP y existe un mundo físicamente posible en el cual ningún organismo manifiesta LTP. Puesto que las características recién mencionadas no son privativas de la LTP, sino que son comunes a la mayoría de las generalizaciones biológicas, la conclusión a la que arriban los/las mecanicistas, como Craver (2007), es que ‘no hay leyes naturales biológicas’, en el sentido de que las generalizaciones de la biología no recogen regularidades estrictas (esto es, universales, generales, sin excepciones, físicamente necesarias, etc.).

Buena parte de los/las filósofos/as mecanicistas aceptan esta conclusión, a saber, que no existen leyes naturales biológicas. Por la misma razón, tampoco existen leyes naturales cognitivas. ¿Sostienen además los/as mecanicistas que las generalizaciones de las ciencias biológicas en general, y de las ciencias cognitivas en particular, no desempeñan ningún papel epistémico/explicativo central o indispensable en los modelos científicos en las que aparecen?

Leuridan (2010) interpreta a los/las mecanicistas como sosteniendo que ni las leyes científicas ni las regularidades naturales explican por qué



se produce un determinado fenómeno. No le falta evidencia textual para esta interpretación. En el artículo fundacional del mecanicismo, Machamer Darden y Craver (2000) sostienen, no solo que la noción de ley estricta de la naturaleza no tiene ninguna aplicación en biología, sino que el concepto de ‘actividad’ puede desempeñar todas las funciones epistémicas/explicativas tradicionalmente atribuidas a las leyes científicas. En la propuesta de análisis de estos autores, un mecanismo es un complejo de entidades y actividades organizadas de tal manera que resultan productivas de cambios regulares desde condiciones de inicio hasta condiciones de terminación (Machamer, Darden y Craver, 2000). Las entidades son las partes o componentes en los mecanismos. Tienen propiedades que les permiten estar involucradas en una variedad de actividades; típicamente, tales entidades poseen localización, tamaño, estructura y orientación. En la biología molecular y en la neurobiología, la jerarquía de mecanismos ‘toca fondo’ en la descripción de las actividades de entidades tales como macromoléculas, moléculas más pequeñas e iones. Las actividades son los componentes causales en los mecanismos. Las actividades en las que toca fondo la jerarquía de mecanismos pueden clasificarse, según Machamer Darden y Craver (2000), en al menos cuatro tipos: actividades geométrico-mecánicas, electroquímicas, energéticas (termodinámicas) y electromagnéticas. Por último, las entidades y las actividades de los mecanismos presentan una cierta organización espacial y dinámica que garantiza la continuidad productiva del mecanismo. En este punto, los autores se preguntan: ¿es indispensable la especificación de leyes científicas para la caracterización de las actividades de un mecanismo? La respuesta que Machamer Darden y Craver (2000) ofrecen en ese texto es claramente negativa:

Algunas veces las regularidades de las actividades pueden describirse mediante leyes. Otras veces no. Por ejemplo, la ley de Ohm puede usarse para describir aspectos de las actividades en el mecanismo de la neurotransmisión. Pero no hay leyes que describan las regularidades del ligamiento de las proteínas a las regiones del ADN. Sin embargo, la noción de actividad porta algunos de los rasgos característicos asociados con las leyes. A las leyes se las considera como regularidades determinadas. Describen algo que actúa de la misma manera bajo las mismas condiciones: i. e., misma causa, mismo efecto. Lo mismo puede decirse de los mecanismos y de sus actividades. Un mecanismo es una serie de actividades de entidades que producen las condiciones de terminación de una manera regular. Estas regularidades no son accidentales y soportan contrafacticos en la medida en que describen actividades (...) No se produce ningún avance filosófico postulando una entidad adicional, una ley, como subyaciendo a la productividad de las actividades (p. 7-8).



Al parecer, para estos autores, no solo la noción de ley natural estricta, sino también la noción más general de ley científica resulta dispensable en la caracterización de los modelos mecanicistas. En primer lugar, parecen sugerir que toda ley científica describe la actividad o capacidad de algún tipo de entidad, ya sea de un sistema o de un componente de un sistema. En segundo lugar, no toda actividad tiene una descripción correspondiente en términos de alguna ley científica (el ejemplo que brindan es el del proceso de ligamiento entre el ADN y una proteína). En tercer lugar, todos aquellos rasgos o virtudes tradicionalmente atribuidas a las leyes científicas —en particular, la necesidad natural y el apoyo de contrafácticos— pueden atribuirse directamente a las actividades casualmente constitutivas de un mecanismo. Por lo tanto, son las actividades de las partes componentes del mecanismo las que llevan el peso explicativo genuino. Este tipo de afirmaciones aparece incluso en contribuciones más recientes de la literatura mecanicista. Así Kaplan y Craver (2011) enfatizan que:

110



(...) los modelos de mecanismos frecuentemente involucran descripciones matemáticas de las relaciones causales en un mecanismo. Esto da la impresión errónea de que la explicación, en tales casos, involucra la subsunción bajo generalizaciones y que es la generalización la que está llevando a cabo la tarea explicativa. De hecho, sin embargo, las generalizaciones son explicativas porque describen las relaciones causales que producen, subyacen o mantienen al fenómeno *explanandum* (p. 612).

A continuación, se argumenta que, desde el propio punto de vista del/la filósofo/a mecanicista, existen buenas razones para rechazar la tesis de la irrelevancia epistémica/explicativa de las leyes científicas en la caracterización de los mecanismos. Se propone un argumento que pone el acento en dos premisas cruciales basadas, primero, en los criterios para distinguir entre las descripciones relativamente no problemáticas de las actividades, por un lado, y los llamados ‘términos de relleno’, por el otro, y, en segundo lugar, en la demanda de cuantificación sobre los principios dinámicos de la organización de los mecanismos. Este argumento puede esquetizarse de la siguiente manera:

### *Argumento de la indispensabilidad epistémica [AIE]*

1. Un modelo mecanicista completo requiere la especificación de las actividades y de la organización del mecanismo que subyace a ese fenómeno.

2. Las leyes científicas son indispensables para la especificación de las actividades no problemáticas de un mecanismo.
3. Las leyes científicas son indispensables para la especificación de la organización dinámica de un mecanismo.
4. Por lo tanto, las leyes científicas son indispensables para la especificación de un modelo mecanicista completo.

La premisa AIE-2 se fundamenta en la distinción conceptual entre los ‘bosquejos’ de mecanismos, en un extremo, y los modelos que ofrecen una descripción idealmente completa de un mecanismo, en el otro extremo, tal como es elucidada por Craver (2006; 2007) y Bechtel y Abrahamsen (2005). Un bosquejo de un mecanismo es un modelo incompleto de un mecanismo. Si bien algunos de los términos o parámetros que aparecen en el modelo caracterizan partes concretas del mecanismo o sus correspondientes actividades, otros son meros ‘términos de relleno’. Algunos de los términos de relleno más usuales para las actividades son ‘causar’, ‘activar’, ‘codificar’, ‘inhibir’ o ‘representar’. Estos términos indican alguna parte o actividad postulada en el mecanismo, pero “no ofrecen ningún detalle acerca de cómo esa actividad se lleva a cabo” (Craver, 2006, p. 360). El caso límite de bosquejo de mecanismo está constituido por los ‘modelos fenoménicos’. En un modelo fenoménico, ningún parámetro representa alguna parte o actividad del mecanismo subyacente al fenómeno. En el otro polo de la clasificación se encuentran las descripciones idealmente completas de un mecanismo. En estos modelos, los términos o parámetros representan todas y solo las partes y actividades que son explicativamente relevantes para cada aspecto del fenómeno *explanandum*. Por supuesto, la vida cotidiana de la modelización en ciencia se da en los puntos intermedios de este *continuum*; allí se encuentran los ‘esquemas de mecanismo’, por ejemplo, aquellos modelos que representan algunos componentes del mecanismo, pero omiten otros componentes, o bien porque resultan irrelevantes en el contexto de ciertas demandas explicativas concretas, o bien de los cuales se desconocen sus rasgos estructurales, funcionales o dinámicos.

Por un lado, para mecanicistas como Machamer, Darden y Craver (2000) y Craver y Darden (2001) existe un conjunto de tipos de actividades geométrico-mecánicas, electroquímicas, termodinámicas y electromagnéticas en las cuales la explicación mecanicista en biología toca fondo. Esto quiere decir que los parámetros que representan estos tipos de actividades no pueden ser considerados *prima facie* como términos de relleno, sino que forman parte del acervo teórico disponible para la mo-



delización científica. Algunos ejemplos de estas actividades relativamente fundamentales son la rotación de la hélice alfa en los canales de iones de sodio (actividad mecánica), la formación de un enlace covalente entre aminoácidos en una proteína (electroquímica), la difusión de ciertos iones a través de la membrana celular (termodinámica) o la conducción de impulsos eléctricos a través de los nervios (electromagnética). Por otro lado, conceptos o términos de actividades tales como ‘causar’, ‘codificar’, ‘inhibir’ son ejemplares de términos de relleno, por ejemplo, términos que están en lugar de alguna actividad respecto de la cual no sabemos exactamente cómo se lleva a cabo. Ahora bien, ¿Qué es lo que distingue a los términos para actividades relativamente fundamentales, o no problemáticas, de los términos de relleno? ¿Por qué la “difusión iónica” es una actividad que forma parte del acervo de conceptos a mano para la modelización mecanicista, pero ‘almacenamiento de representaciones’ no lo es?

El hilo conductor de la respuesta a estas preguntas puede encontrarse en Weber (2005). Este autor se enfoca en un proceso específico que forma parte del mecanismo del potencial de acción: el transporte pasivo de iones a través de la membrana. Este proceso es el resultado de la acción de dos tipos de fuerzas distintas. En primer lugar, hay una fuerza electromagnética. El que las cargas positivas y negativas estén desigualmente distribuidas a ambos lados de la membrana crea una fuerza Coulomb neta que mueve los iones de sodio a través de la membrana. La segunda fuerza es osmótica. Los iones están siempre en movimiento aleatorio térmico, rebotan constantemente contra la membrana lipídica. Por lo tanto, más iones cruzarán la membrana desde el lado en el cual la concentración iónica sea mayor. Existe un estado de equilibrio en el cual estas dos fuerzas se cancelan y que viene dado por la ecuación de Nernst:

$$[1] E = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

En esta ecuación,  $R$  es la constante de gas,  $T$  es temperatura (en grados Kelvin),  $z$  es la valencia del ion,  $F$  es la constante de Faraday y  $[X]_o$  y  $[X]_i$  son las concentraciones iónicas en el exterior y en el interior de la membrana celular. Si las concentraciones del ion no están en equilibrio con el potencial de la membrana, entonces existe una fuerza neta que es proporcional a la diferencia de potencial entre el voltaje de la membrana y el voltaje de equilibrio para ese tipo de ion.

Pues bien, tal como señala Weber (2005), lo que este breve explicación pone de manifiesto es que el transporte pasivo de iones se explica



en términos de, al menos, dos leyes científicas: la ley de Coulomb, que especifica la fuerza con la cual los cuerpos cargados se atraen o repelen entre sí, y la ecuación de Nernst, que especifica el estado de equilibrio para el transporte pasivo de iones. La conclusión de Weber es que, al menos en algunos casos concretos, parece que se requieren leyes de la naturaleza para comprender cómo surgen y se desarrollan ciertas actividades. Sin embargo, Weber (2005) concede que esta conclusión puede reformularse en términos de leyes de la ciencia, de tal manera que “podríamos usar la llamada concepción semántica de las teorías para decir que el modelo [del potencial de acción] es una teoría físico-química que incorpora alguna información biológica” (p. 27)

El ejemplo de la difusión pasiva pone de manifiesto que la posibilidad de explicitar un criterio mecanicista aceptable para trazar la distinción entre los conceptos de ‘actividades no problemáticas’ y ‘términos de relleno’. En el contexto de la modelización en ciencias, se consideran a ciertos conceptos de actividades como relativamente no problemáticos (i. e., como aquellos en los cuales la investigación mecanicista se detiene) solo si es posible subsumir tales procesos o actividades bajo algunos principios o leyes científicas bien confirmadas. Dada la clasificación de actividades fundamentales de Machamer, Darden y Craver, las leyes científicas relevantes para el mecanicismo son aquellas de las teorías de la mecánica, la química, la termodinámica, la electrodinámica (y las diversas teorías entre esos campos). Puesto que supuestamente se desconocen las leyes científicas bien confirmadas que especificarían términos de actividades tales como ‘almacenar en memoria’ o ‘rotar la representación visual’, estos últimos no pueden ser considerados como relativamente no problemáticos en la construcción de una descripción mecanicista completa.

Otro punto importante es que el ejemplo del transporte pasivo permite cuestionar la tesis (quizá implícita) del mecanicismo según la cual las leyes científicas involucradas en los modelos mecanicistas solo pueden, —su única función es— especificar las actividades o capacidades de las partes de un mecanismo. Podría defenderse, siguiendo a Cartwright (1983) que la ley de Coulomb solo describe la ‘capacidad’ de los cuerpos cargados para ser movidos por otros cuerpos cargados bajo ciertas condiciones. Sin embargo, esta defensa no vale para la ecuación de Nernst. Puesto que se trata de una ley termodinámica, la ecuación especifica el comportamiento de un pedazo de materia sin prestar atención a los detalles causales de los procesos involucrados; *a fortiori*, las leyes termodinámicas no refieren a capacidades poseídas por objetos individuales.



En el contexto de la ecuación de Nernst, si bien los iones tienen una ‘capacidad’ para mover o ser movidos por otros iones, lo que no tienen es la capacidad de intentar equilibrarse a través de la membrana. Quizá el gradiente electroquímico a través de la membrana tenga esa capacidad, pero no se trata de una parte componente del mecanismo, ni siquiera es un objeto material, como señala Weber (2005). Este ejemplo evidencia que, al menos en el caso de algunas leyes científicas involucradas en los modelos mecanicistas, la función de tales leyes no está vinculada a la especificación de las actividades realizadas por las partes. En suma, queda claro que la tesis de la irrelevancia epistémica/explicativa de las leyes científicas no puede ser aceptada por el/la filósofo/a mecanicista. Más bien, esta tesis viene requerida por una buena elucidación de la distinción mecanicista entre esbozos, esquemas y descripciones idealmente completas de mecanismos.

114



La premisa AIE-3 se enfoca en la indispensabilidad de las leyes científicas en la especificación de la organización dinámica de un mecanismo. Esta indispensabilidad puede ilustrarse con el ejemplar paradigmático de explicación mecanicista exitosa propuesto por Craver (2007), la explicación del potencial de acción mediante la teoría de los canales iónicos. Desde una perspectiva hempeliana, nomológico-deductivista, podría pensarse que el modelo electrofisiológico de Hodgkin y Huxley (1952) del ‘potencial de acción’ explicaba el desarrollo del impulso nervioso a través de la membrana neuronal mediante ciertos principios o leyes dinámicas, recogidas en las ecuaciones diferenciales del modelo, que representaban, fundamentalmente, los cambios en la permeabilidad selectiva de la membrana. Para los/las filósofos/as mecanicistas, en cambio, el modelo de Hodgkin y Huxley es un modelo fenomenológico o, en el mejor de los casos, el esbozo incompleto del mecanismo del potencial de acción. La razón principal es que el modelo de Hodgkin y Huxley incluye términos de relleno. La ‘activación’ e ‘inactivación’ de ciertas ‘partículas de transporte activo’ de iones eran actividades (y partes) postuladas por el modelo, pero de cuya existencia no había ningún tipo de evidencia. De hecho, esa hipótesis inicial resultó ser empíricamente inadecuada y fue consecuentemente rechazada. Según Craver (2007):

C.M. Armstrong (1981) y Bert Hille (1992), entre otros, elevaron el discurso de los canales iónicos específicos por encima del estatus de términos de relleno. En el modelo de Hille, que ahora forma parte de los libros de texto en neurociencia, los cambios de conductancia en los potenciales de acción se explican mediante la apertura y clausura temporalmente coordinada de canales a través de la membrana (p. 116).

En la teoría de los ‘canales iónicos’ de Hille, por encima de un cierto umbral de despolarización de la célula, se abren un gran número de canales sensibles al  $Na^+$ , que incrementan dramáticamente la conductancia a través de la membrana celular permitiendo el ingreso de iones de  $Na^+$  al medio intracelular. Este flujo de iones de sodio conduce el voltaje de la célula hasta aproximadamente el potencial de equilibrio de  $Na^+$  y da cuenta de la fase ascendente del potencial de acción. La despolarización de la membrana produce la inactivación de los canales específicos de  $Na^+$ ; además, activa otro tipo de canales iónicos específicamente sensibles a los iones de potasio  $K^+$ : estos se difunden, entonces, desde el fluido intracelular hacia el medio extracelular. La difusión de iones de potasio devuelve el potencial de la membrana a su potencial de equilibrio. Puesto que estos canales de  $K^+$  tardan relativamente bastante en retornar a su estado cerrado, la membrana entra en una fase de hiperpolarización, durante la cual es menos excitable. A pesar de que la pauta de explicación de Armstrong y Hille era claramente mecanicista, tendiente a identificar las partes y actividades concretas responsables del fenómeno del potencial de acción, Craver (2007) sostiene que la propuesta de estos investigadores constituía un esquema de mecanismo. Todavía quedaban, según Craver, términos de relleno; en particular, todavía estaba pendiente la cuestión acerca de cómo es que los canales se ‘activaban’ y ‘desactivaban’.

Craver se centra en la reconstrucción de las investigaciones empíricas de estas actividades postuladas para el caso de los canales específicos de  $Na^+$  (véase Hille, 1992). En modificar levemente el ejemplo y reseñar la investigación empírica acerca de la manera en la cual tiene lugar la activación de los canales de potasio  $K^+$ . Este cambio de foco permite poner en evidencia la importancia de la especificación de ciertas leyes científicas en una descripción relativamente más completa de las actividades de un mecanismo, i. e., una que reemplace los términos de relleno por conceptos relativamente no problemáticos.

El salto fundamental en la comprensión científica de la estructura de los canales de  $K^+$  es relativamente reciente. En Doyle et al. (1998), un discípulo de Hille, Rod Mackinnon, y los miembros de su laboratorio, lograron aplicar exitosamente técnicas experimentales de cristalografía de difracción de rayos-X para la reconstrucción de la estructura tridimensional, a nivel atómico, del canal  $KcsA$  —un canal de potasio de la bacteria *Streptomyces lividans*. La estructura de  $KcsA$  consiste en 396 residuos aminoácidos (o 3504 átomos). El canal está construido por cuatro subunidades de un tetrámero de cadenas péptidas, cada una de ellas consistiendo en una hélice externa, una hélice interna, una hélice de poro



y un filtro de selectividad. Los átomos de la proteína forman un poro central a través de estas subunidades, como reseñan Chung y Kuyucak (2002) (véase la Figura 1).

Figura 1

La escultura 'El nacimiento de una idea' de Julian Voss-Andreae basada en el canal de potasio KcsA



Fuente: Foto de Dan Kvitka. Escultura encargada y propiedad de Roderick MacKinnon.

MacKinnon obtuvo el premio Nobel en 2004 por esta descripción de la estructura atómica del canal  $KcsA$ . Sin embargo, el mismo investigador considera que la tarea dista de estar concluida y afirma:

Muchas cuestiones permanecen sin respuesta. Sospecho que los iones en el poro interactúan entre sí a través de la estructura de la proteína. Para testear esta idea se requieren, sin embargo, datos con mayor resolución acerca de la química del filtro de selectividad, y quizá estudios dinámicos de la proteína (Hille, Armstrong y MacKinnon, 1999, p. 1109).

No se equivoca. La mayoría de las reseñas recientes sobre los avances en el campo de los canales iónicos, como Kuyucak y Bastug (2003) señalan que el descubrimiento de la estructura atómica de canales como *KcsA* ha cambiado el foco de los estudios teóricos en el área, pasando de modelos cualitativos a modelos cuantitativos en los cuales se pretende especificar los aspectos funcionales y dinámicos de la permeabilidad de los canales, partiendo de la información disponible acerca de la estructura molecular. En este sentido, la modelización computacional provee una fuente de comprensión complementaria respecto de los experimentos cristalográficos. Tal como señalan Chung y Kuyucak (2002):

Durante los últimos años, se han producido enormes avances en nuestra comprensión de las relaciones estructura-función en los canales iónicos biológicos. El avance repentino ha sido el producto del esfuerzo combinado de biofísicos experimentales y computacionales, quienes han traído a la luz los principios de funcionamiento de estas macromoléculas biológicas exquisitamente diseñadas que regulan los gradientes iónicos a través de la membrana viviente (...) Muchos aspectos de las propiedades macroscópicas observables de los canales iónicos están siendo considerados por simulaciones moleculares y de dinámica estocástica. Las explicaciones intuitivas y pretendidas de la permeabilidad y la selectividad de los iones están comenzando a ser reemplazadas por enunciados cuantitativos basados en leyes físicas rigurosas (p. 268).

La explicación contemporáneamente aceptada del potencial de acción consiste, básicamente, en el esquema de los canales iónicos propuesta hace cuarenta años por Hille. Este esquema propone ciertas partes o entidades y actividades componentes, por ejemplo, la activación e inactivación de los canales iónicos. Recientemente, MacKinnon ha identificado, con un nivel atómico de detalle, la estructura de estos canales, en particular, de los canales de potasio en cierta bacteria. Sin embargo, este logro teórico y experimental, más que constituir un 'punto de descanso' de la investigación, implicó más bien el despegue de un conjunto de trabajos de modelización computacional destinados a representar de manera cuantitativa las actividades y la organización dinámica de los componentes concretos que garantizan la continuidad productiva del mecanismo. La necesidad de tales modelos debe ser clara a esta altura de la argumentación: sin tal comprensión cuantitativa y de acuerdo con leyes científicas bien confirmadas, las representaciones de las actividades de los canales iónicos son meros términos de relleno, que no pueden considerarse como relativamente no problemáticas y bien comprendidas.

Considerando que se trata de un ejemplar paradigmático de explicación mecanicista, la indispensabilidad de los principios dinámicos en la explicación del potencial de acción sugiere fuertemente que tales principios serán igualmente indispensables en la construcción de muchos otros, si no la mayoría, de los modelos mecanicistas en biología y ciencias cognitivas.

Este largo argumento a favor de la indispensabilidad de las leyes de la ciencia para la especificación de los modelos mecanicistas no debe leerse como una crítica al mecanicismo. Según una interpretación caritativa, resulta notable que, en pasajes claves de sus textos, los mecanicistas aceptan amablemente la indispensabilidad de este tipo de principios científicos, tanto para la descripción fundamental de las actividades (AIE-2), como para la descripción de la organización dinámica del mecanismo (AIE-3).

En lo que refiere a la tesis general de la indispensabilidad epistémica, Craver y Kaiser (2013) afirman, *contra* Leuridan, que:

En una palabra, ningún mecanicista niega que los biólogos busquen regularidades y que de manera rutinaria formulen generalizaciones [no estrictas] que puedan ser usadas para la predicción, la explicación y el control de los fenómenos. De hecho, es difícil ver cómo alguna actividad humana significativa pueda llevarse a cabo sin descubrir y representar (en algún sentido), tales regularidades (p. 130).

Siguiendo a Bogen (2005), Craver y Kaiser enfatizan la variedad de roles epistémicos que los principios de los modelos científicos pueden desempeñar en la búsqueda de mecanismos, entre otros, describir el fenómeno a ser explicado, describir algunas restricciones sobre los modelos mecanicistas aceptables, calcular parámetros cuantitativos relevantes para el mecanismo y simular el comportamiento del mecanismo. Por su parte, Bechtel y Richardson (2010) sugieren, quizá sorpresivamente, que en la medida en que enfatizan el estudio de los modelos científicos por sobre el estudio de las teorías generales, su propuesta mecanicista no es incompatible con la familia de las concepciones semánticas de las teorías. En la mayoría de las concepciones semánticas, como la de Giere (1988) que mencionan los autores, ciertos principios (o 'leyes de la ciencia') son indispensables para la especificación de los modelos científicos.

La aceptación mecanicista de la indispensabilidad de las leyes de la ciencia es aún más nítida si nos enfocamos en la premisa AIE-3. Así, por ejemplo, en el contexto de una revisión de ciertas afirmaciones demasiado fuertes realizadas por Machamer, Darden y Craver, Kaplan y Craver (2011) sostienen lo siguiente:



Con frecuencia, los rasgos de la organización espacial y temporal o dinámica de los componentes y de sus actividades son explicativamente relevantes y se incluyen en los modelos [mecanicistas] (...) Los mecanismos son frecuentemente descriptos usando ecuaciones que representan cómo los valores de las variables componentes cambian entre sí. La descripción matemática, aunque no es esencial para todas las explicaciones mecanicistas, es ciertamente una herramienta útil para la caracterización de las interacciones complejas entre los componentes, aún en mecanismos moderadamente complicados (p. 606).

De modo que, para estos autores, los principios científicos pueden resultar ‘herramientas útiles’ en la representación adecuada de la organización dinámica de mecanismos, siempre y cuando estos alcancen un umbral relativamente bajo de complejidad. Aunque útiles, tales principios parecen ser opcionales. Ahora bien, cabe cuestionar esta excesiva prevención de Kaplan y Craver, pues ¿Qué alternativa tenemos a la utilización de tales principios dinámicos en la representación de sistemas complejos? En este punto, coincido con mecanicistas como Bechtel y Richardson (2010), y Bechtel y Abrahamsen (2010), quienes señalan que el ‘umbral de complejidad’ para la utilización de ecuaciones dinámicas se supera rápidamente en la mayor parte de —sino en todos— los sistemas biológicos estudiados por la neurobiología o las ciencias cognitivas. Bechtel y Richardson (2010) incluso llegan a formular la tesis misma de la indispensabilidad, según la cual la especificación de leyes dinámicas es un requisito necesario para la construcción de explicaciones mecanicistas completas:

En la medida en que se incrementa la cantidad y la importancia de las interacciones, se incrementa también la complejidad de los problemas explicativos. La tarea de construir una explicación para un dominio dado puede verse como la tarea de encontrar el número suficiente de variables, de restricciones sobre los valores posibles de esas variables y las leyes dinámicas que son funciones de esas variables. Estas leyes hacen posible el uso del modelo para predecir los estados futuros de cosas a partir de descripciones de estados precedentes (p. 21).

Dada esta evidencia textual, resulta prudente reconstruir la posición mecanicista como aceptando la tesis de la indispensabilidad explicativa de las leyes científicas (no así de las leyes naturales, sean estrictas o no). Si la interpretación contraria en la cual se apoya la argumentación de Leuridan (2010) fuese la elegida, entonces el argumento expuesto en esta sección constituiría una crítica a la concepción mecanicista. El punto es que esta interpretación de Leuridan corre el riesgo de estar ensañándose contra un ‘hombre de paja’: una tesis no defendida por nadie y rechazada



por todos/as los/as participantes del debate. Por lo tanto, cabe concluir que, bajo una interpretación caritativa de la concepción mecanicista, esta se compromete, al igual que el análisis funcional de Cummins (1983) con la tesis de la indispensabilidad epistémica/explicativa de los principios o leyes de la ciencia, al menos para el caso de los modelos mecanicistas en ciencias biológicas o cognitivas.

## Conclusiones

Este artículo defiende la indispensabilidad de las leyes científicas en el campo de las ciencias cognitivas.

Se introdujo la distinción entre las leyes de la ciencia y las leyes de la naturaleza.

Se evidencia que tanto quienes defienden como quienes rechazan la existencia de leyes causales intencionales presuponen que esas leyes no contribuyen a la explicación funcionalista o mecanicista de los fenómenos que describen.

Se sostiene que el análisis funcional requiere la especificación de leyes científicas no causales.

Se presenta un argumento en favor de la indispensabilidad epistémica de las leyes científicas para la explicación mecanicista.

Las leyes científicas (aunque no necesariamente las leyes de la naturaleza) desempeñan un papel epistémico indispensable en la explicación en ciencias cognitivas<sup>1</sup>.

## Nota

- 1 El presente trabajo se financió parcialmente con el proyecto UBACyT: 200201902 00360BA: “Reconstrucciones conceptuales en las ciencias biológicas: aplicaciones didácticas e implicaciones sociales”, Instituto de Filosofía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, 01/01/2020 al 31/12/2022.

## Bibliografía

BEATTY, John

- 1995 The Evolutionary Contingency Thesis. En Gereon Wolters, James Lennon y Peter McLaughlin (Eds.), *Concepts, Theories and Rationality in the Biological Sciences* (pp. 45-81), Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.



- BECHTEL, William & ABRAHAMSEN, Adele  
 2005 Explanation: A Mechanist Alternative. *Studies in the History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36, 421-441. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.010>
- 2010 Dynamic Mechanistic Explanation: Computational Modeling of Circadian Rhythms as an Exemplar for Cognitive Science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 41, 321-333. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.07.003>
- BECHTEL, William & RICHARDSON, Robert  
 2010 *Discovering Complexity*. Cambridge, MIT Press.
- BOGEN, James  
 2005 Regularities and Causality. Generalizations and Causal Explanations. *Studies in History of Philosophy of Biology and Biomedical Sciences*, 36, 397-420. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.009>
- CARTWRIGHT, Nancy  
 1983 *How The Laws of Physics Lie*. Oxford, Clarendon Press.
- CHUNG, Shin-Ho & KUYUCAK, Serdar  
 2002 Ion Channels: Recent Progress and Prospects. *European Biophysics Journal*, 31, 283-293. <https://doi.org/10.1007/s00249-002-0216-4>
- CRAVER, Carl  
 2006 When Mechanistic Models Explain. *Synthese*, 155, 355-376. <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9097-x>
- 2007 *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*, Oxford, Clarendon Press.
- CRAVER, Carl & DARDEN, L.  
 2001 *Discovering Mechanisms in Neurobiology: The Case of Spatial Memory*. En Peter Machamer, Robert Grush y Peter McLaughlin (Eds.), *Theory and Method in Neuroscience* (pp.112-137), Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- CRAVER, Carl & KAISER, Marie  
 2013 Mechanisms and Laws: Clarifying the Debate. En Hsiang-Ke Chao, Szuting Chen y Roberta Millstein (Eds.), *Mechanism and Causality in Biology and Economics* (pp. 125-145), Dordrecht, Springer.
- CUMMINS, Robert  
 1975 Functional Analysis. *Journal of Philosophy*, 72(20), 741-765. <https://bit.ly/2LPROEb>
- 1983 *The Nature of Psychological Explanation*. Cambridge, MIT Press.
- 2000 'How Does It Work?' Vs. 'What Are The Laws': Two Conceptions of Psychological Explanation. En Robert Cummins, *The World in the Head* (pp. 282-310). Oxford, Oxford University Press.
- DENNETT, Daniel  
 1969 *Content and consciousness*. Londres, Humanities Press.
- PÉREZ, Diana  
 1995 ¿Leyes causales intencionales? *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 20(1), 67-81.
- DOYLE, Declan, CABRAL, João, PFUETZNER, Richard, KUO, Anling, GULBIS, Jacqueline, COHEN, Steven, CHAIT, Brian & MACKINNON, Robert  
 1998 The Structure of the Potassium Channel: Molecular Basis of K<sup>+</sup> Conduction and Selectivity. *Science*, 280, 69-77. <https://doi.org/10.1126/science.280.5360.69>

- FODOR, Jerry  
 1987 *Psychosemantics*. Cambridge, MIT Press.  
 1991 You can fool some of the people all of the time, everything else being equal; Hedged laws and psychological explanations. *Mind*, 100(1), 19-34. <https://doi.org/10.1093/mind/C.397.19>  
 1994 *The Elm and the Expert. Mentalese and its Semantics*. Cambridge, MIT Press.
- GIERE, Ronald  
 1988 *Explaining Science*. Chicago, University of Chicago Press.  
 1999 *Science without Laws*. Chicago, University of Chicago Press.
- HILLE, Bert  
 1992 *Ions Channels of Excitable Membranes*, Sunderland, Sinauer.
- HILLE, Bert, ARMSTRONG, Clay & MACKINNON, Robert  
 1999 Ion Channels: From Idea to Reality. *Nature Medicine*, 5, 1105-1109. <https://doi.org/10.1038/13415>
- HODGKIN, Alan & HUXLEY, Andrew  
 1952 Quantitative Description of Membrane Current and Its Application to Conduction and Excitation in Nerve. *Journal of Physiology*, 117, 500-544. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004764>
- KAPLAN, David & CRAVER, Carl  
 2011 The Explanatory Force of Dynamical and Mathematical Models in Neuroscience: A Mechanistic Perspective. *Philosophy of Science*, 78, 601-627. <https://doi.org/10.1086/661755>
- KUYUCAK, Serdar & BASTUG, Turgut  
 2003 Physics of Ion Channels. *Journal of Biological Physics*, 29, 429-446. <https://doi.org/10.1023/A:1027309113522>
- LEURIDAN, Bert  
 2010 Can Mechanisms Really Replace Laws of Nature. *Philosophy of Science*, 77, 317-340. <https://doi.org/10.1086/652959>
- LORENZANO, Pablo  
 2007 Leyes Fundamentales y Leyes de la Biología. *Scientia Studia*, 5(2), 185- 224. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662007000200004>
- MACHAMER, Peter, DARDEN, Lindley & CRAVER, Carl  
 2000 Thinking About Mechanisms”, *Philosophy of Science*, 67, 1-25. <https://doi.org/10.1086/392759>
- SCHIFFER, Stephen  
 1991 Ceteris Paribus Laws. *Mind*, 100, 1-17. <https://doi.org/10.1093/mind/C.397.1>
- SKIDELSKY, Liza & PÉREZ, Diana  
 2005 La distinción personal-subpersonal y la autonomía de la explicación de nivel personal en Dennett. *Manuscrito*, 28(1), 77-112. Recuperado de: <https://bit.ly/3r6NznQ>
- SKIDELSKY, Liza  
 2003 Realismo Intencional, Eliminativismo y Psicología Científica”, *Análisis Filosófico*, 23(1), 13-39. Recuperado de: <https://bit.ly/37tHBpc>
- SWARTZ, Norman  
 1995 *A Neo-Humean Perspective: Laws as Regularities*. En Friedel Weinert (Ed.), *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions* (pp. 67-91). New York: De Gruyter.



VAN FRAASSEN, Bas

1989 *Laws and Symmetry*. Oxford, Clarendon Press.

WEBER, Marcel

2005 *Philosophy of experimental biology*. Cambridge University Press.

WEISKOPF, Daniel

2011 Models and Mechanisms in Psychological Explanation. *Synthese*, 183, 313-338. Recuperado de: <https://bit.ly/37xNZM4>

Fecha de recepción de documento: 6 de julio de 2020

Fecha de revisión de documento: 15 de septiembre de 2020

Fecha de aprobación de documento: 15 de octubre de 2020

Fecha de publicación de documento: 15 de enero de 2021

