

Causalidad mental y neurociencia: el modelo de la poda semántica*

(*Mental causation and neuroscience: The semantic pruning model*)

José Manuel MUÑOZ

Recibido: 23/11/2016

Versión final: 01/11/2017

BIBLID 0495-4548(2018)33:3p.379-399

DOI: 10.1387/theoria.17312

RESUMEN: En este artículo proponemos un modelo hipotético de causalidad mental que denominamos *poda semántica* y que podría definirse como la influencia causal de los contenidos y significados sobre la configuración espacial de la red de sinapsis de un individuo. Nos guiaremos por dos principios centrales: 1) la influencia causal de lo mental se produce en virtud de constricciones semánticas externas y consiste en la activación selectiva de ciertos poderes físicos, 2) cuando la activación selectiva es continuada, desencadena un proceso de poda sináptica en la red neural y neuromuscular.

Palabras clave: causalidad mental, cierre causal de la física, constricciones semánticas, mecanismos, emergencia contextual, naturalización del contenido mental, poda sináptica.

ABSTRACT: In this paper I propose a hypothetical model of mental causation that I call *semantic pruning* and which could be defined as the causal influence of contents and meanings on the spatial configuration of the network of synapses of an individual. I will be guided by two central principles: 1) the causal influence of the mental occurs by virtue of external semantic constraints and consists in the selective activation of certain physical powers, 2) when the selective activation is continual, it triggers a process of synaptic pruning in the neural and neuromuscular network.

Keywords: mental causation, causal closure of physics, semantic constraints, mechanisms, contextual emergence, naturalization of mental content, synaptic pruning.

* Nuestro agradecimiento a todas las personas que, durante el proceso que ha llevado a su publicación, han leído el manuscrito y evaluado su idoneidad, aportando útiles comentarios y sugerencias. El tema del artículo surge de nuestra investigación predoctoral en la UNED, si bien el texto ha sufrido una sustancial modificación en forma y contenido a partir del que aparece en la tesis doctoral (Muñoz 2016). Además, hemos presentado tentativamente nuestro modelo hipotético en un seminario para el Grupo Mente-cerebro (Universidad de Navarra, mayo de 2016) y en el II Congreso Internacional de la Red Española de Filosofía (Universidad de Zaragoza, septiembre de 2017). Agradecemos a las audiencias de ambos eventos su interés, así como sus preguntas y comentarios.

«[T]odo hombre puede ser, si se lo propone, escultor, de su propio cerebro.»

Reglas y consejos sobre investigación científica
(Ramón y Cajal 1999, 15)

1. Introducción

Debemos entender la *causalidad mental* como «el proceso por el cual ciertos eventos o estados, *en virtud de ser mentales*, i. e., *de tener propiedades mentales*, dan lugar a cambios en las propiedades físicas del mundo, provocando eventos o estados físicos tales como cambios cerebrales, contracciones de los músculos y acciones corporales manifiestas» (Moya 2011, 185). Es decir, se trata de la influencia causal de lo mental sobre lo físico gracias a propiedades que son específicamente mentales. Por tanto, escapan a esta definición todos aquellos procesos en los que un evento físico recibe un influjo causal por parte de otro evento que goza de propiedades mentales que, sin embargo, no son relevantes para provocar dicho cambio; en estas situaciones, la causalidad es de tipo físico (Moya 2006a, 208; 2011, 185). A este respecto, pensemos en un revelador ejemplo ofrecido por Dretske (1988, 79) y referente a una soprano cuyo canto con un tono muy agudo es capaz de romper el cristal: este se rompe por las vibraciones sonoras que transmiten el canto (que son una propiedad física), y no por el significado de este último (que es una propiedad mental).

La causalidad mental se topa con importantes dificultades teóricas. Una de las más destacables es el problema de la exclusión causal (PEC), planteado, entre otros, por Jaegwon Kim (1998). En esencia, este problema desafía la existencia de la causalidad mental a partir de la imposibilidad de aceptar conjuntamente las siguientes tesis (*cf.*: Vicente 2001, 77; 2007, 157; Haug 2010, 58; Engelhardt 2015, 206):

- a) Cierre causal (o completitud) de la física: todo efecto físico tiene una causa suficiente de tipo físico.
- b) Eficacia causal del ámbito mental: algunos tipos mentales (eventos, estados, propiedades) son capaces de provocar efectos físicos.
- c) Exclusión causal: no es posible más de una causa suficiente para un efecto físico, salvo que exista sobredeterminación causal.
- d) No sobredeterminación: no se dan efectos sobredeterminados cuando la causa es mental.
- e) Irreductibilidad: los tipos mentales que gozan de poder causal no son idénticos ni reductibles a tipos físicos.

En este trabajo proponemos un modelo hipotético de causalidad mental (secciones 6 y 7) que, mientras que acepta de manera preliminar las demás tesis, responde al PEC abandonando el *cierre causal de la física* (CCF). Nuestra estrategia parte de una explicación en términos de *constricciones semánticas* que gozan de relevancia causal sobre un *mecanismo* cuyos niveles distintos se relacionan mediante *emergencia contextual* (secciones 2 y 3). Debemos señalar que, pese a dejar de lado el CCF, el modelo no viola las leyes físicas: sostendremos que las constricciones semánticas son causalmente relevantes porque determinan qué estados o eventos se presentan de entre todas aquellas posibilidades que resultan compatibles con las leyes físicas fundamentales. Para concretar nuestra explicación recurriremos a la influencia de ciertos intentos de *naturalización del contenido mental* (sección 4) y a la *poda sináptica* (sección 5).

Es importante aclarar que no negamos otras formas distintas de actuación del ámbito mental sobre el mundo físico. En particular, aquellas que conllevan la participación de las razones, las intenciones, los deseos y/o las creencias en procesos deliberativos complejos juegan un papel relevante en la filosofía de la mente y, sin embargo, no son contempladas aquí. Por tanto, deseáramos que el modelo no fuera tomado sino como una propuesta inicial hacia nuevas vías de investigación referentes a los procesos biológicos específicos vinculados al problema de la causalidad mental.

2. Causalidad mental, superveniencia y emergencia

En las discusiones acerca de la causalidad mental, es corriente que esta sea tratada como un proceso en el que intervienen eventos o estados de distintos estratos jerárquicamente organizados. Esta visión corresponde a una posición metafísica en la que el mundo

consiste en una formación ordenada de niveles, de modo tal que cada nivel consiste en dos componentes: un conjunto de *entidades* que constituyen el dominio de los particulares para ese nivel y un conjunto de *propiedades* definidas sobre este dominio. Lo que da estructura a esta formación ordenada es la relación mereológica de *ser parte de*: las entidades pertenecientes a un estrato determinado están mereológicamente compuestas por entidades pertenecientes a los niveles inferiores, y esta relación genera un ordenamiento jerárquico de los niveles. [...] [E]sta imagen multinivelada normalmente trae consigo el supuesto de que hay un nivel en la base, un estrato de entidades que no tienen partes físicamente significativas. (Kim 1993, 190-191)

A modo de referencia, fijémonos en la jerarquía propuesta por Emmeche *et al.* (1997), basada en cuatro niveles primarios: físico, biológico, psicológico y sociológico. Atendiendo a una gradación como esta, podemos ver que la causalidad mental parece mostrar un sentido *descendente*: del nivel psicológico, que aloja las propiedades mentales, a los niveles que alojan las propiedades biológicas y físicas.¹ Así, la causalidad mental se nos presenta como un proceso incompatible con el reduccionismo causal; según este, la manera en que actúan los componentes de una entidad determina lo que sucede en los niveles que se sitúan por encima, de forma que todas las relaciones causales tienen lugar en un sentido *ascendente* (Murphy 2011, 203). De esta manera, una visión reduccionista desde el punto de vista causal no resultaría adecuada para desarrollar nuestro modelo de causalidad mental.

Parece, por tanto, que hemos de emplear una aproximación no reduccionista, y para ello resulta necesario apelar a un vínculo ontológico internivel que relacione sincrónicamente las propiedades mentales con las propiedades físicas de una manera apropiada. A este respecto, comenzaremos por plantearnos la adecuación de la superveniencia, una relación entre familias de propiedades que tiene distintas acepciones, si bien la más habitual es la conocida como «superveniencia fuerte»:

[La familia de propiedades] A *superviene fuertemente* sobre [la familia de propiedades] B solo si, necesariamente, para cada [objeto] x y cada propiedad F en A, si x tiene F, entonces hay

¹ En adelante, adoptaremos un criterio de identidad entre propiedades biológicas y físicas. Consideramos que este enfoque simplifica nuestra argumentación sin afectar a su esencia.

una propiedad G en B tal que x tiene G, y *necesariamente* si algún [objeto] y tiene G, tiene F. (Kim 1984, 165)

En el mismo trabajo, Kim estudia otras dos acepciones de superveniencia: débil y global. La superveniencia débil se diferencia de la fuerte en que carece del último operador modal de necesidad. En cuanto a la superveniencia global, se caracteriza por tratar sobre mundos posibles, y no sobre objetos o individuos como sí hacen las otras dos variantes de superveniencia (siendo, por tanto, locales).

Pero centrémonos en la definición de superveniencia fuerte (llamémosla F-superveniencia). Conforme a esta, ha de darse una diferencia a nivel inferior para que se dé una diferencia a nivel superior. Es decir, «bajo la superveniencia fuerte, la base determina completamente las propiedades supervenientes» (Kim 1984, 174-175). Sin embargo, una diferencia a nivel inferior no conduce necesariamente a una diferencia a nivel superior; de hecho, «una propiedad superveniente tendrá *bases de superveniencia alternativas* —propiedades base que son cada una suficiente para la propiedad superveniente—» (Kim 1984, 165). Esta diversidad de bases supervenientes suele conocerse como «realización múltiple», e implica que una misma propiedad mental puede verse realizada (*i. e.*: llevada a término, implementada) por distintas propiedades físicas. De este modo, en la F-superveniencia las propiedades del nivel inferior brindan condiciones *no necesarias pero suficientes* para que se den las propiedades del nivel superior (*cf.*: Bishop y Atmanspacher 2006, 1757; Moya 2006a, 100-101).

Según esto, si las propiedades mentales supervienen en última instancia a propiedades físicas, significa que las propiedades físicas determinan las propiedades mentales, lo cual nos lleva a toparnos con el PEC, que adelantábamos en la sección 1 y que podemos concretar aquí de la siguiente manera (*cf.*: Kim 2010, 83):

Si un evento o estado X con propiedades físicas $F_p \dots, F_n$ y propiedades mentales $M_p \dots, M_n$ es suficiente para provocar un efecto físico Y , y $F_p \dots, F_n$ determinan completamente $M_p \dots, M_n$ (F-superveniencia), entonces X es suficiente para provocar Y en virtud de $F_p \dots, F_n$, siendo $M_p \dots, M_n$ causalmente inertes o superfluas.

Parece que, de acuerdo con este argumento, la F-superveniencia constituye una relación reduccionista desde el punto de vista causal: las propiedades mentales resultan ser meramente epifenómicas, sin poderes causales propios, lo cual impide un proceso descendente, que es el que suele atribuirse a la causalidad mental. Llegaríamos a la misma conclusión si adoptáramos otras versiones reduccionistas más estrictas o radicales que la F-superveniencia, en las cuales las propiedades del nivel inferior brindan condiciones *necesarias y suficientes* para que se den las propiedades del nivel superior (*cf.* Bishop y Atmanspacher 2006, 1757).

En nuestra búsqueda de un vínculo ontológico apropiado, consideraremos ahora la opción de la emergencia. Se trata de un concepto que ha ido evolucionando a lo largo de unos cien años, si bien en la actualidad suele aludirse a dos acepciones principales: débil y fuerte. Como explica Kim (2010, 86-87; *cf.* Chalmers 2006), la emergencia débil constituye una variante epistemológica, basada en la impredecibilidad de los fenómenos y propiedades de nivel superior a partir de nuestro conocimiento de las condiciones basales, mientras que la emergencia fuerte constituye una variante ontológica, pues implica la aparición de novedad.

des objetivas. Es la emergencia fuerte (de ahora en adelante, F-emergencia) la que nos incumbe aquí, definiéndose como sigue:

[S]ea *F* una propiedad de un todo que está determinado por, o es superveniente sobre, las propiedades y relaciones estructurales que caracterizan a sus constituyentes: *F* es emergente si y solo si *F* no es deducible de esos hechos acerca de sus constituyentes. (Kim 2010, 90)²

Según esto, las propiedades mentales, aun no siendo deducibles a partir de las condiciones físicas, sí estarían determinadas por ellas. En realidad, la F-emergencia tiene a la F-supervenencia como componente necesario, por lo que, en principio, hereda de esta el PEC. Bajo la F-emergencia, las propiedades mentales parecen tener, nuevamente, una presencia epifenoménica.

Pero existe una tercera variante de emergencia que sí podría resultar útil para nuestros propósitos. Se trata de la *emergencia contextual*, una relación sincrónica en la que

[I]as propiedades y comportamientos de un sistema en un nivel particular (incluyendo sus leyes) ofrecen condiciones *necesarias pero no suficientes* para las propiedades y comportamientos en un nivel superior. (Bishop 2011, 128; la cursiva es nuestra)

Además,

[I]as condiciones contingentes que especifican el contexto para la transición del nivel inferior de propiedades y comportamientos al superior son necesarias para proporcionar tales condiciones suficientes. (Bishop 2011, 128)

Mientras que Atmanspacher (2012) concibe la emergencia contextual como una relación entre niveles de descripción, Bishop (2005) se ha aproximado a ella con vocación tanto epistemológica como ontológica. Por nuestra parte, en aras de un adecuado contraste con la F-supervenencia y la F-emergencia, la interpretaremos como una relación ontológica local. Desde ahora, conoceremos como C-emergencia a la emergencia contextual entendida de este modo.

Obsérvese que, en la C-emergencia, la condición de *necesidad* establece una conexión indeleble entre niveles ontológicos. Por su parte, la condición de *insuficiencia* erradica el problema del epifenomenismo: implica que, a diferencia de lo que sucede con la F-supervenencia y la F-emergencia, las propiedades físicas no determinan las propiedades mentales. Parece, por tanto, que la C-emergencia relaciona sincrónicamente las propiedades de distintos niveles de un modo apropiado para efectuar una aproximación no reduccionista en la que las propiedades mentales gocen de poderes causales propios y puedan, con ello, provocar efectos físicos. Pero surge aquí un problema importante. Recordemos que, hasta este momento, hemos venido atendiendo a la causalidad mental como un proceso descendente concebido en un sentido mereológico todo-parte. El problema radica en que, para efectuar

² Chalmers (2006, 247) lo explica del siguiente modo: «Podemos pensar en los fenómenos fuertemente emergentes como determinados sistemáticamente por los hechos de bajo nivel sin ser deducibles de esos hechos. En lenguaje filosófico, son supervenientes naturalmente pero no lógicamente sobre los hechos de bajo nivel».

una justificación teórica de la causalidad mental en tanto que causalidad *descendente* (en el sentido mencionado) no basta con hallar una relación entre propiedades (C-emergencia) que erradique el problema del epifenomenismo. Esto se debe a que la ausencia de epifenomenismo parece compatible, en principio, no solo con procesos causales descendentes, sino también con aquellos que se producen dentro del mismo nivel (*e. g.*: propiedades mentales que conducen a cambios también mentales). Y, mientras que la causalidad intranivel es considerada habitualmente como no problemática, los procesos causales todo-parte derivan en importantes dificultades explicativas. Como bien señalan Craver y Bechtel (2007), los procesos causales internivel o verticales (*i. e.*, parte-todo y todo-parte) son incompatibles con ciertas características que suelen atribuirse a las relaciones causa-efecto. Entre dichas características podemos destacar: 1) causa y efecto son *eventos distintos* (no son idénticos, no se superponen y uno no comprende al otro), 2) causa y efecto son *asimétricos* tanto en su *temporalidad* (la causa es anterior al efecto) como en su *dependencia causal* (la causa provoca el efecto, y no al revés).

El problema, dicen Craver y Bechtel, es que los partidarios de la causalidad vertical fusionan *causación* y *constitución*. No existe una relación causal entre un «mecanismo» (su término para el todo) y sus componentes, sino que el mecanismo está constituido por sus componentes. Esto implica que se trata de una relación simétrica, porque «un cambio en las partes se manifiesta como un cambio en el mecanismo como un todo, y un cambio en el mecanismo es también un cambio en al menos algunas de sus partes componentes» (Craver y Bechtel 2007, 554). De este modo, defienden los autores, «las apelaciones inteligibles a causas internivel (de arriba abajo y de abajo arriba) pueden ser entendidas [...] como apelaciones a efectos mediados mecánicamente. Los efectos mediados mecánicamente son híbridos de relaciones causales y constitutivas, donde las relaciones causales son exclusivamente intranivel» (Craver y Bechtel 2007, 547). Conforme a esta concepción, los procesos causales supuestamente verticales tienen una explicación más inteligible en términos mecanicistas. En los procesos ascendentes, cuanto ocurre es que un estado del mecanismo corresponde a una condición producida por las relaciones causales intranivel que se producen entre los componentes. En cuanto a los procesos descendentes, lo que sucede es que un cambio en las condiciones en las que el mecanismo se encuentra hace que sus componentes sean, según el caso, reclutados en la respuesta del mecanismo al cambio o bien arrastrados con él en un movimiento físico.

El argumento neomecanicista de Craver y Bechtel parece sólido. Sin embargo, no está todo perdido para los partidarios de la causalidad mental si se concibe esta *en términos distintos a los de un proceso internivel*. Creemos, de hecho, que es posible construir un modelo de causalidad mental dentro de un marco teórico neomecanicista y, al mismo tiempo, C-emergentista. Establecer dicho marco es la tarea a la que nos encomendamos en la siguiente sección.

3. *Mecanismos, constricciones y C-emergencia*

Si nuestro modelo va a desarrollarse en un marco neomecanicista, es imprescindible incorporar un mecanismo específico. Para ello, vamos a profundizar en el concepto de mecanismo. En esencia, los mecanismos son colecciones de «entidades y actividades organizadas de tal manera que exhiben un fenómeno» (Craver y Bechtel 2007, 549). No constituyen meras descripciones, sino que se ajustan a un enfoque óntico: son hechos, explicaciones ob-

jetivas de la estructura causal de la realidad (Craver 2007). Los mecanismos, además, se hallan divididos en niveles de acuerdo con una *relación local de constitución todo-parte* (Craver y Bechtel 2007; Craver 2007) en la que «un ítem X está en un nivel inferior a un ítem S si y solo si X es un componente en el mecanismo para alguna actividad ψ de S. X es un componente en un mecanismo si y solo si es una de las entidades o actividades organizadas de tal manera que S hace ψ » (Craver y Bechtel 2007, 548; cf. Craver 2007, 189). Por medio de relaciones espaciales (*e. g.*: movimiento), temporales (*e. g.*: duración) y activas (*e. g.*: retroalimentación), diversos componentes de un nivel se organizan conjuntamente y, al hacerlo, conforman un componente de nivel superior en el desempeño de su actividad (Craver 2007). De este modo, los componentes de un mecanismo (en cualquier nivel) son *componentes que se comportan* («behaving components»), por lo que a menudo no corresponden a objetos delimitados espacialmente (Craver 2007, 190). Un ejemplo es la sinapsis, que

está compuesta por parte de una célula [presináptica] (el terminal axónico), parte de una célula postsináptica (la dendrita o botón) y el hueco entre ellas. Lo que aúna a estos ítems en un componente es su comportamiento organizado: la célula presináptica libera transmisores que atraviesan la hendidura y actúan sobre la célula postsináptica. Las sinapsis no son células o partes de células. Ni están compuestas por células solamente. Más bien, son componentes unificados por su organización en una actividad. (Craver 2007, 190)

Este ejemplo resulta enormemente relevante para nuestros propósitos. Como ya veremos en detalle, nuestro modelo defiende que el contenido y el significado influyen causalmente sobre el sistema nervioso provocando un proceso de poda sináptica, la cual implica una reconfiguración espacial de la red de sinapsis. En dicho modelo, la poda está concebida como un efecto mediado mecánicamente.

De acuerdo con semejante enfoque, proponemos establecer el siguiente marco neomecanicista:

1. La red completa de conexiones sinápticas de un individuo es un mecanismo. Lo denominaremos S-red.
2. La actividad desempeñada por S-red (*i. e.*, el fenómeno que exhibe) es la transmisión del impulso nervioso.
3. Los componentes básicos de S-red son las sinapsis (tanto neurona-neurona como neurona-miocito).
4. Las sinapsis conforman S-red en virtud de su organización conjunta para transmitir el impulso nervioso.
5. En coherencia con la especialización funcional de diversas áreas del sistema nervioso, S-red está constituido por diversos niveles de componentes. No obstante, solo nos referiremos a los niveles inferior y superior: el nivel de las sinapsis y el nivel del mecanismo en su totalidad.

Creemos que es posible conciliar este marco neomecanicista con una defensa de la causalidad mental. Nuestra estrategia se basa en una explicación en términos de constricciones semánticas con influencia causal sobre la actividad de S-red.

Podemos definir las constricciones de cualquier tipo como

determinaciones que reducen los grados de libertad del sistema al que pertenecen (*i. e.*, un plano inclinado que reduce a dos dimensiones espaciales el movimiento de una bola sobre él), simplifi-

can (o cambian) la descripción de ese sistema y contribuyen a proporcionar una explicación adecuada de su comportamiento, que de otro modo podría estar infradeterminado o incorrectamente determinado. (Mossio *et al.* 2013, 163-164)

En el caso de los sistemas sociales, las constricciones se presentan como *normas* (Umerez y Mossio 2013, 491). En conformidad con un criterio bastante arraigado en las filosofías de la mente y del lenguaje, vamos a considerar que los contenidos y significados (que son propiedades semánticas y, como tales, propiedades mentales) entrañan normas o criterios objetivos, socialmente establecidos, de uso correcto o incorrecto. Asimismo, y para los propósitos de este trabajo, vamos a asumir que una S-red constituye un subsistema particular dentro de un sistema social y que, como tal, está sujeta a las normas propias de este. De acuerdo con estos supuestos, nos referiremos a las constricciones que actúan sobre S-red como constricciones «semánticas», «normativas» o «externas», indistintamente. En nuestro modelo, dichas constricciones modifican el contexto en que S-red ejerce su actividad y, al hacerlo, desencadenan consecuencias internas.

La práctica experimental en disciplinas como la neurociencia cognitiva ha puesto de manifiesto que someter a un mecanismo a un nuevo contexto puede provocar un cambio en el comportamiento de sus componentes (Craver y Bechtel 2013). En un trabajo reciente, Bechtel (2017) emplea herramientas que pueden ayudarnos a comprender mejor este fenómeno. Sirviéndose de la teoría de grafos (de uso frecuente en neurociencia), plantea concebir los mecanismos como módulos constituidos por nodos altamente interconectados. Aunque la especial interconexión que se produce entre los nodos de un módulo no impide que interactúen con nodos externos, sí que les permite coordinarse para actuar de manera conjunta en la producción de un fenómeno. De este modo, el mecanismo queda delimitado frente a aquellas entidades que no pertenecen a él pese a tener influencia en el fenómeno que exhibe. En los sistemas biológicos, las aristas que conectan los nodos entre sí representan operaciones no lineales. La no linealidad permite que el módulo manifieste un comportamiento dinámico complejo, al cual contribuyen de manera destacada los bucles de retroalimentación:

Como resultado de la interconectividad de las partes, especialmente los bucles de retroalimentación, el módulo identificado como el mecanismo funciona como una unidad, con las operaciones de las partes individuales del mecanismo determinadas por otras partes del mecanismo. [...] A pesar de que [un] input [externo] [...] puede afectar sólo a uno o unos pocos componentes, el mecanismo como un todo es la unidad relevante debido a las interconexiones que operan a través del mecanismo. (Bechtel 2017, 268)

No hay cabida aquí para una causalidad descendente dentro del mecanismo. Como vimos en la sección anterior, los procesos de aparente causalidad todo-parte pueden explicarse satisfactoriamente mediante la combinación de relaciones causales intranivel y relaciones constitutivas internivel. De este modo:

Quando se altera el comportamiento del mecanismo como un todo, se cambia el contexto mecánico de un componente (sus inputs y outputs). Como resultado, se cambia cómo se comporta el componente. Esto no es el esfuerzo misterioso de un poder de nivel superior, sino la *ramificación de poderes causales a través de un mecanismo*. (Craver y Bechtel 2013, 1047; la cursiva es nuestra)

Basándose en este enfoque, nuestro modelo plantea que las constricciones semánticas marcan una diferencia en el contexto externo que afecta al contexto interno del mecanismo, produciéndose un cambio en el comportamiento de sus componentes que no es resultado de un proceso causal todo-parte, sino que constituye un efecto mediado mecánicamente.

Obsérvese que nuestra aproximación proporciona una vía de respuesta al PEC. Al apelar a la influencia causal de *constricciones no físicas* sobre un sistema físico, estamos renunciando al CCF, según el cual todo efecto físico tiene una causa física suficiente.³ Esto no implica violar las leyes fundamentales de la física. Lo cierto es que «en nuestro mundo las leyes fundamentales siempre vienen a expresarse en contextos concretos que incluyen constricciones no proporcionadas por las leyes fundamentales» (Bishop 2012, 66). Como sostiene Bishop (2012), dichas leyes establecen un espacio de comportamientos de la materia que son compatibles con ellas, pero este espacio de posibilidades físicas se comprime progresivamente a medida que aparecen constricciones químicas, biológicas, psicológicas y sociales. Se obtienen así distintos espacios de posibilidades que, pese a ser compatibles con el espacio físico, no dependen suficientemente de él. Por tanto, la cooperación entre las leyes físicas y constricciones no físicas es la que determina el espacio de comportamientos posibles de la materia en una situación específica (*cf.* Bechtel 2017, 272). Según Bishop, estamos ante el tipo de circunstancia que está explicado por la *emergencia contextual*. De hecho, consideramos que nuestra versión de la emergencia contextual, la C-emergencia, ensambla satisfactoriamente con el marco neomecanicista que proponemos. En la sección anterior explicábamos que la C-emergencia es una relación sincrónica, ontológica y local en la que los comportamientos, propiedades y leyes en un determinado nivel de un sistema proporcionan condiciones necesarias pero no suficientes para los comportamientos, propiedades y leyes en un nivel superior. Para alcanzar tales condiciones suficientes había que acudir al contexto. En cuanto a los mecanismos, recordemos, poseen un carácter óntico y están divididos en niveles conforme a una relación local de constitución todo-parte. Onticidad y localidad convergen aquí con la ontologitud y la localidad de la C-emergencia. No obstante, estas dos características son propias también de la F-emergencia y la F-superveniencia, de modo que es el rol desempeñado por el contexto el que nos proporciona la clave diferencial para describir los mecanismos en términos de C-emergencia. Cuando el mecanismo como un todo recibe una influencia externa que afecta a su comportamiento (su actividad), la fuerte interconexión que existe entre los componentes hace que se modifique el contexto interno en el que estos se encuentran (es decir, sus relaciones en forma de *inputs* y *outputs*), por lo que su comportamiento varía. El efecto causal de la influencia externa se ramifica por los niveles inferior (el de los componentes) y superior (el del mecanismo en su totalidad). En esta situación, la actividad del mecanismo no depende suficientemente de (no está determinado por) el comportamiento de los componentes individuales y las leyes físicas que lo gobiernan, pues depende también del contexto interno en el que los componentes se interrelacionan, que está afectado por la influencia externa. No obstante, la relación de constitución entre los niveles establece, *per se*, que el comportamiento de los componentes sí es necesario para que se produzca el comportamiento del mecanismo. A este respecto, cabe recordar

³ Al principio del trabajo aclarábamos que aceptamos las otras cuatro tesis que componen el PEC: eficacia causal del ámbito mental, exclusión causal, no sobredeterminación e irreductibilidad. La afirmación que efectuamos solo resulta válida en tal marco.

que el único requisito para que un componente sea considerado como tal es que se trate de uno de los ítems organizados conjuntamente *para que* el mecanismo lleve a cabo su actividad. Esto significa que si un ítem no es necesario para el comportamiento del mecanismo, entonces no es un componente. En definitiva, existe un vínculo de necesidad e insuficiencia entre el nivel de los componentes y el nivel del mecanismo, por lo que nos hallamos ante un caso de C-emergencia.⁴

Llegados a este punto, disponemos de un marco teórico que nos permite plantear una tesis de partida para la concreción de nuestro modelo hipotético. Al inicio de este artículo, definíamos la causalidad mental como

el proceso por el cual ciertos eventos o estados, *en virtud de ser mentales*, i. e., *de tener propiedades mentales*, dan lugar a cambios en las propiedades físicas del mundo, provocando eventos o estados físicos tales como cambios cerebrales, contracciones de los músculos y acciones corporales manifiestas. (Moya 2011, 185)

Ateniéndonos a los planteamientos que hemos venido exponiendo acerca de los mecanismos, las constricciones y la C-emergencia, podríamos reformular esta definición general para obtener la siguiente tesis concreta:

La causalidad mental es el proceso en el que ciertos eventos o estados, debido a sus propiedades mentales, constriñen el comportamiento mecánico de un organismo humano hasta el punto de provocar cambios neurales y neuromusculares.⁵

Partiendo de esta tesis, emplearemos dos principios centrales en la concreción de nuestro modelo:

- A) La influencia causal de lo mental se produce en virtud de constricciones semánticas y consiste en la activación selectiva de ciertos poderes físicos.
- B) Cuando la activación selectiva se produce de manera continuada, desencadena un proceso de poda sináptica en la red neural y neuromuscular.

En las dos próximas secciones desarrollaremos sendos principios fundamentales. El primero de ellos recibe influencia de las posiciones que dos autores en concreto han defendido en búsqueda de la naturalización del contenido mental.

4. *La naturalización del contenido mental: Dretske y Moya*

La primera influencia proviene de la teoría informacional de Fred Dretske (1988; 1993; 2009), quien parte de una particular concepción del comportamiento. Si por este entendemos únicamente el movimiento corporal, entonces podemos dar cuenta de él atendiendo

⁴ Aunque Craver y Bechtel no mencionan explícitamente que los mecanismos sean descriptibles mediante emergencia contextual, sí que observan su incompatibilidad con la superveniencia fuerte (Craver 2007) y la emergencia fuerte (Craver 2007, 216-217; Craver y Bechtel 2007, 550-551).

⁵ Como ya dijimos en la introducción, no estamos pensando en una opción excluyente de causalidad mental.

exclusivamente a *propiedades físicas* de estados internos. En este sentido, esos estados internos juegan el papel de «causas desencadenantes», en palabras del autor. Pero el comportamiento no es movimiento, dice Dretske, sino aquellos procesos que conducen causalmente a él a partir de estados internos. La conexión causal se produce gracias a las propiedades físicas de estos, pero para saber por qué han ejercido el papel de causantes debemos atender a sus *propiedades semánticas*. En este otro sentido, los estados internos actúan, en virtud de su contenido semántico, como lo que el autor llama «causas estructurantes» del comportamiento (*i. e.*, del proceso causal): aquellas que explican *por qué* se desencadena el movimiento. Bajo el prisma dretskeano, las propiedades semánticas se explican en términos de información y relación: el significado que contienen los estados internos no es otra cosa que información acerca del entorno que se conecta con este por medio de un vínculo causal nomológico establecido por aprendizaje. Así, diríamos que aquello que un estado interno *indica* respecto al entorno motiva su *reclutamiento* para la producción de un determinado movimiento (véase Dretske 1988, 101).

La segunda influencia sobre nuestro primer principio proviene de la propuesta de Carlos Moya acerca de la naturalización del contenido mental (Moya 2011; 2012), propuesta que, según afirma el propio autor (Moya 2011, 197), encuentra a su vez inspiración (si bien no exclusivamente) en la teoría informacional de Dretske. Moya sugiere que pensemos en cómo los humanos nos insertamos en sistemas sociales de carácter semántico, como puedan ser el lenguaje ordinario o la música. En situaciones de este tipo, según sostiene, encontramos procesos de causalidad ascendente, ya que la producción de sonidos hablados o musicales, así como el progreso en las habilidades del habla o de la interpretación musical, no se explican sin la existencia de un sustrato causal de tipo neurofisiológico y un acrecentamiento en la complejidad de las conexiones neurales, respectivamente. Pero hay también un lugar para la causalidad descendente por medio de la selección y el refuerzo de determinadas conexiones neurales y neuromusculares:

[C]uáles son las conexiones neurológicas seleccionadas entre la miríada de las posibles depende del contenido semántico objetivo de los signos musicales o lingüísticos; aquellas conexiones que dan lugar a sonidos o emisiones lingüísticas correctas son reforzadas, mientras que aquellas que generan resultados erróneos no lo son; y la diferencia entre unas y otras viene determinada, en parte, por las reglas semánticas que gobiernan los sistemas en cuestión; en este sentido, ciertas conexiones en el seno del cerebro, y de éste con nervios y músculos, son seleccionadas y establecidas a través de un proceso de causalidad descendente: desde los contenidos y significados de los signos musicales y lingüísticos, de acuerdo con las normas semánticas de la notación musical y los signos lingüísticos, hasta las conexiones neuronales y neurofisiológicas. (Moya 2012, 52)

Por tanto, continúa Moya, nos encontramos ante la influencia causal sobre el ámbito neural de factores (contenido y significado) que, conforme proclaman los externistas, trascienden el cerebro del agente.⁶ Además, la selección y el refuerzo que operan para configurar las conexiones neurales se producen a través de la selección de acciones corporales, de manera que es el cuerpo en su conjunto el protagonista del proceso, y no el cerebro en solitario. En de-

⁶ El externismo es «la doctrina según la cual el significado de nuestras palabras y el contenido de nuestros estados mentales están parcialmente determinados por relaciones extrínsecas con determinados aspectos de nuestro entorno» (Moya 2006a, 209).

finitiva, concluye el autor, da la impresión de que debe asumirse la causalidad mental para poder comprender y dar cuenta de situaciones como, por ejemplo, la sincronía que tiene lugar entre violinistas en el seno de una orquesta de calidad. En dicho caso

[h]a de haber importantes pautas comunes en sus respectivas redes y conexiones neuronales y neurofisiológicas que den cuenta de esa sincronía. Y estas pautas comunes no existirían si determinados procesos de causalidad descendente, que parten del significado objetivo de los signos musicales, no hubieran afectado los cerebros, nervios y músculos de cada uno de estos intérpretes cuando aprendieron a leer la notación musical y a interpretarla con sus violines. (Moya 2012, 54)

Desde luego, el planteamiento de Moya guarda similitudes con el de Dretske. En ambas propuestas se defiende que ciertos estados internos son reclutados en un proceso de aprendizaje para la producción de determinados movimientos debido a aquello que indican sobre el entorno. En el caso de Moya, los estados internos corresponden concretamente a conexiones neurales y neuromusculares, y el proceso de reclutamiento tiene lugar a través de su selección y su refuerzo. Por lo que respecta a los movimientos implicados, corresponden a la producción del habla y la interpretación musical. En cuanto a la relación de indicación sobre el entorno, esta adopta la forma de un ajuste normativo, socialmente establecido, con respecto a los contenidos y significados de los signos musicales y lingüísticos. Nótese que, conforme a este enfoque, la norma semántica constriñe la actuación de los estados internos: solo aquellos que portan la información adecuada en relación a la norma son seleccionados y reforzados para producir los movimientos pertinentes. En definitiva, las constricciones semánticas ocasionan una activación selectiva de poderes físicos.

La concreción de nuestro modelo hipotético se inicia adoptando una perspectiva similar. El mecanismo S-red (que, como vimos, consiste en la red completa de conexiones sinápticas) dispone de un espacio de posibilidades de acuerdo con las leyes físicas fundamentales. La aparición de las constricciones normativas reduce el espacio de posibilidades de S-red (sus grados de libertad), con lo que modifica las condiciones en que ejerce su actividad (la transmisión del impulso nervioso). La modificación solo implica inicialmente a un subconjunto de componentes del mecanismo: aquellas sinapsis que portan la información correcta de acuerdo a la norma semántica. Sin embargo, debido a la organización conjunta de las sinapsis en virtud de sus múltiples interconexiones, las consecuencias de esta activación selectiva se propagarán por todo el mecanismo y derivarán en un efecto mediado mecánicamente. En nuestra propuesta, dicho efecto corresponde a un conocido proceso neuroplástico, del que trataremos a continuación.

5. *La poda sináptica*

Hemos desarrollado ya el primero de los principios centrales para la concreción de nuestro modelo hipotético: la activación selectiva de poderes físicos en virtud de constricciones semánticas. En esta sección profundizaremos en el segundo principio fundamental: cuando la activación selectiva se produce de manera continuada, desencadena un proceso de poda sináptica en la red neural y neuromuscular. La poda sináptica, o eliminación de sinapsis, es conocida en neurociencia desde hace muchos años (*e. g.*, Huttenlocher 1979) y ha sido entendida tradicionalmente como un componente del desarrollo del sistema nervioso entre los dos

años y la adolescencia. Sin embargo, sostendremos que hay razones importantes para pensar que podría tratarse de un proceso asociado a aprendizajes y ocurrente en cualquier fase vital.

Tapia y Lichtman (2008) han efectuado una descripción exhaustiva del funcionamiento de la poda sináptica. Destacaremos a continuación algunos elementos fundamentales de dicha descripción. En esencia, el proceso consiste en una doble disminución que, en principio, tendría lugar durante el desarrollo del sistema nervioso: desciende la cantidad de axones que desembocan en una misma célula postsináptica y lo hace también la cantidad de células postsinápticas en las que desemboca un mismo axón. Entre las conexiones afectadas se incluyen las neuromusculares, donde axones de tipo motor se unen con fibras musculares. Según los autores, todo ocurre mediante la retracción de ramales axónicos, aunque debemos añadir que también se ha observado la eliminación de espinas dendríticas (*e. g.*, Petanjek *et al.* 2011). En cualquier caso, aunque los axones se desligan de algunas células postsinápticas, crece el número de sinapsis con aquellas otras a las que se mantienen vinculados, reforzándose así las conexiones intercelulares supervivientes. De esta forma, tiene lugar una reconfiguración de la red de transmisiones sinápticas en la que se pasa de un alto grado de redundancia y solapamiento a la aparición de circuitos únicos (fig. 1). Esto podría constituir una adaptación del individuo a su ambiente concreto, posiblemente fundamentada en experiencias que influyen en el desarrollo del sistema nervioso.

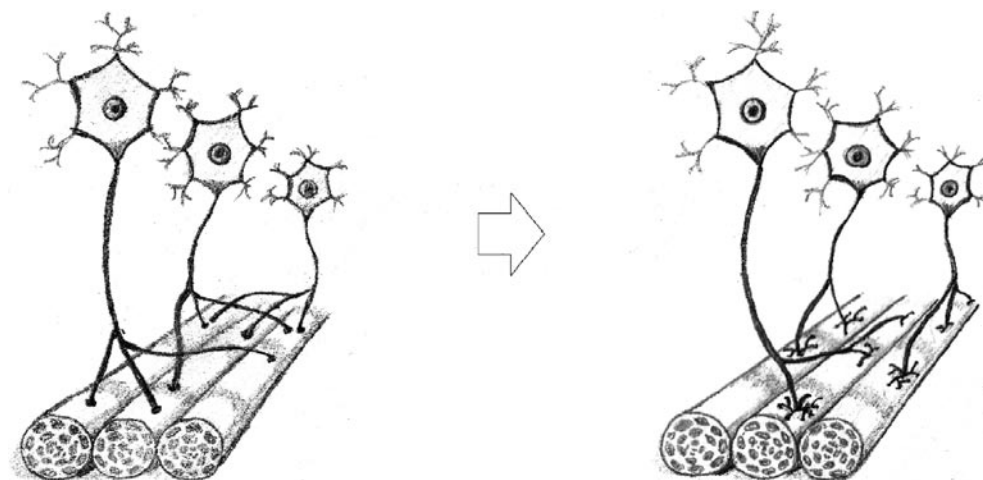


Figura 1

Poda sináptica por retracción de ramales axónicos en una unión neuromuscular. Durante el proceso: a) disminuye el número de axones que van a parar a un mismo miocito y también el número de miocitos a los que va a parar un mismo axón, b) se refuerzan los vínculos neurona-miocito supervivientes mediante la formación de sinapsis adicionales. Aunque, en aras de una mayor simplicidad, se muestra el resultado final en forma de «un axón, un miocito», esto no constituye una norma (ilustraciones: Daniela Guevara)

Pero, ¿de qué modo se relaciona la poda sináptica con la idea de una activación selectiva provocada por constricciones de naturaleza semántica? La respuesta parte del motivo que

subyace a la poda sináptica. Según Tapia y Lichtman, la eliminación de sinapsis no se produce de modo predeterminado, sino en virtud de una competencia interneuronal en la que, conforme a la hipótesis más extendida, las diferencias en la actividad eléctrica de los axones constituyen el factor decisivo: las sinapsis activas sobreviven y las inactivas desaparecen. Nos hallamos ante un proceso que, a nuestro juicio, cabría calificar como «lamarckismo neural»: es el *uso o desuso* de las conexiones intercelulares lo que conduce a su refuerzo o eliminación, respectivamente (*cf.* Changeux 2012, 207).

La idea de una alteración de las conexiones sinápticas debida a una actividad eléctrica diferencial nos retrotrae a la conocida teoría de la asamblea celular defendida por Hebb (1949). En esencia, el postulado del aprendizaje hebbiano se basa en el refuerzo de los axones que están activos cuando la célula postsináptica también lo está. Pero la neuroplasticidad hebbiana, creemos importante señalarlo, no equivale a la poda sináptica. Esta última constituye un proceso más amplio e integrado, en el que la supervivencia y el refuerzo de los axones activos vienen acompañados por la eliminación de los axones inactivos que conectan con una célula postsináptica activa. No solo eso, sino que además existe una coordinación entre refuerzo y eliminación por la cual «las sinapsis activas generan dos tipos de señales postsinápticas: una que las protege de los efectos desestabilizadores de la actividad y otra que castiga a otros *inputs* que no están activos al mismo tiempo» (Tapia y Lichtman 2008, 481). En todo caso, la poda sí podría asemejarse a la asamblea hebbiana en un sentido funcional, pues parece no estar relacionada en exclusiva con el proceso de desarrollo sino también con el de *aprendizaje*. A este respecto, Tapia y Lichtman escriben:

El tipo más importante de plasticidad adulta debe ser sin duda la memoria. ¿Podría tener la eliminación de sinapsis algo que ver con la memoria? Varios neurobiólogos [...] han dado explícitamente argumentos a favor de que la selección (en lugar de la instrucción) juega potencialmente un importante papel en el aprendizaje. La idea es que, en el cerebro, el sistema de circuitos sinápticos existe *a priori* para muchas cosas que puede que finalmente se aprendan, de manera que el aprendizaje podría ocurrir mediante la selección de caminos sinápticos que ya existen en lugar de la construcción de nuevos circuitos. Aunque dicha selección podría ocurrir incrementando la fortaleza de un conjunto de interconexiones sinápticas o mediante el debilitamiento de otras, también podría ocurrir eliminando completamente algunos circuitos. (Tapia y Lichtman 2008, 488)

Aceptemos que, efectivamente, la poda sináptica está asociada (también) al aprendizaje. Asumamos, además, que habilidades como el lenguaje ordinario o la música se adquieren mediante procesos de aprendizaje dependientes de normas semánticas establecidas socialmente. Partiendo de estos supuestos, podemos concretar más nuestro modelo estableciendo una vinculación causal entre la poda sináptica y la activación selectiva de poderes físicos en virtud de constricciones semánticas. En la sección precedente propusimos que las constricciones externas estrechaban el espacio de posibilidades mecánicas de S-red a la hora de transmitir el impulso eléctrico, de modo que solo se activaban aquellas sinapsis que portaban la información adecuada atendiendo a la norma semántica. A partir de aquí, la compleja interconectividad que existe entre las sinapsis permite que el efecto de la activación selectiva se propague por todo el mecanismo. Cada sinapsis eléctricamente activa (por pertenecer a una ruta neural o neuromuscular que conduce a emisiones lingüísticas o sonidos adecuados) emite una señal postsináptica que la estabiliza, acompañada de una señal punitiva que afecta a los *inputs* sinápticos inactivos. Cuando sucede de manera continuada, este

proceso coordinado conlleva el refuerzo de unas sinapsis y la eliminación de otras, culminándose así un efecto mediado mecánicamente: la poda sináptica.

Ahora bien, el aprendizaje, que se sirve de la memoria, es compatible con cualquier etapa vital. A este respecto, cabe añadir una precisión que no resulta baladí: aceptar la eliminación de inputs axónicos como fundamento de la memoria conllevaría la necesidad de que dicha eliminación se produzca también en el cerebro de un adulto (Tapia y Lichtman 2008, 488). No obstante, creemos que existen motivos importantes para aceptar la posibilidad de que, en efecto, la poda se perpetúe durante toda la vida:

1. Gracias a Petanjek *et al.* (2011) y a otros trabajos (*e. g.*, Huttenlocher y Dabholkar 1997), sabemos que el patrón temporal de la eliminación de sinapsis difiere entre regiones corticales, entre capas de la misma región e, incluso, entre subcapas compuestas por distintas clases de dendritas que contienen las neuronas de una misma capa. Por tanto, resulta problemático establecer un momento específico de interrupción de la poda.
2. Se ha observado que la poda de espinas dendríticas en el córtex prefrontal sobrepasa el período adolescente y sigue operando entre los veinte y los treinta años, tras lo cual tiene lugar una estabilización de la densidad de espinas (Petanjek *et al.* 2011). Esto amplía considerablemente el límite de la eliminación de sinapsis, establecido hasta ahora en la adolescencia, alcanzándose ya etapas adultas (fig. 2).

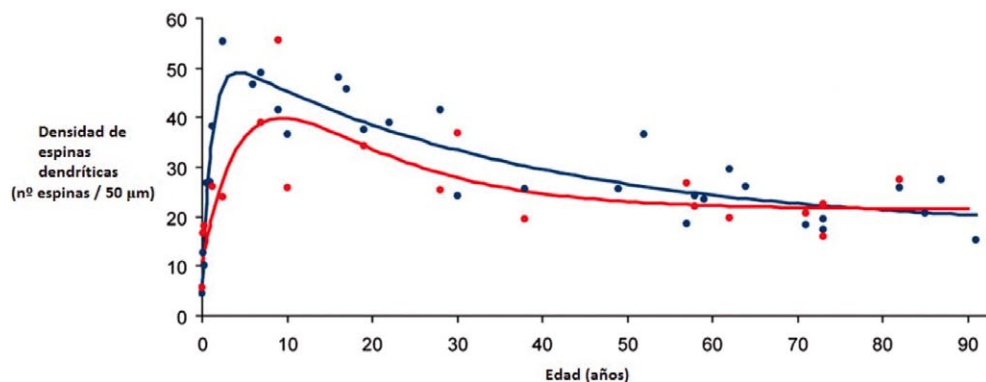


Figura 2

Poda de espinas dendríticas mencionada en el párrafo anterior. Las curvas de regresión corresponden a dos capas neuronales distintas del córtex prefrontal dorsolateral humano. Adaptado de Petanjek *et al.* (2011)

3. La mencionada estabilización no implica necesariamente una interrupción de la eliminación de sinapsis, pues podría deberse a un equilibrio entre la creación y la destrucción de estas (*cf.* Tapia y Lichtman 2008, 469). De hecho, existen evidencias de neurogénesis en la edad adulta (véase Spalding *et al.* 2013).
4. Como ya hemos apuntado, la eliminación de sinapsis en ciertas conexiones intercelulares viene acompañada por la formación de sinapsis adicionales que refuerzan

las conexiones supervivientes (fig. 1). Esta reconfiguración podría mantener más o menos estable el número de sinapsis por unidad de volumen (la densidad sináptica).

Estos argumentos sugieren la idea de que la poda sináptica puede tener cabida en todas las etapas vitales y de que la evolución temporal de la densidad sináptica no reflejaría sino cambios en el resultado de la interacción entre la formación, la reubicación y la eliminación de sinapsis conforme a las circunstancias específicas de cada fase vital.

6. *La poda semántica: un modelo de causalidad mental*

Llegados a este punto, tras desarrollar en las dos secciones precedentes los principios fundamentales que nos han permitido concretar nuestra aproximación, podemos ya plantear nuestro modelo hipotético acerca de la influencia causal de los contenidos y significados sobre el mundo físico:

- [I] *Poda semántica*. A lo largo de un aprendizaje consistente en la adquisición de habilidades sujetas a reglas semánticas (*e. g.*: lenguaje ordinario, interpretación musical), la adecuación de ciertos resultados (sonidos, hablas o acciones corporales) al estándar establecido por dichas reglas constituye una constricción de carácter normativo. Esta constricción reduce el espacio de posibilidades del que dispone el mecanismo S-red (la red completa y organizada de sinapsis de un individuo) para ejercer la transmisión del impulso nervioso (su actividad) de acuerdo con las leyes fundamentales de la física. Así, la constricción actúa a modo de filtro o tamiz, activando selectivamente las conexiones sinápticas (los componentes de S-red) que permiten la producción de los resultados adecuados. Debido a las complejas interconexiones entre las sinapsis, el efecto de la activación selectiva se propaga por todo el mecanismo mediante una combinación de señales postsinápticas estabilizadoras y punitivas. Con la práctica continuada y el perfeccionamiento de las habilidades ya mencionadas, la propagación deriva en una poda sináptica, es decir, un efecto mediado mecánicamente por el cual se refuerzan las conexiones eléctricamente activas y se eliminan las inactivas. Todo este proceso causal, al que denominaremos *poda semántica* (PS),⁷ implica un vínculo de C-emergencia en el que el comportamiento de las sinapsis y las leyes físicas que lo rigen proporcionan condiciones necesarias pero no suficientes para la actividad del mecanismo S-red. Para alcanzar tales condiciones suficientes es imprescindible acudir al contexto mecánico en el que las sinapsis se interrelacionan, que está afectado por las constricciones semánticas.
- [II] *Desarrollo del proceso*. El refuerzo efectuado en el proceso PS progresa de dos maneras complementarias. Por un lado, las sinapsis descartadas desaparecen mediante la retracción de ramales axónicos y/o la eliminación de espinas dendríticas.

⁷ Con esta abreviatura pretendemos facilitar la distinción entre dos términos gráfica y fonéticamente similares: la *poda semántica* (que constituye un proceso causal completo) y la *poda sináptica* (que es meramente el efecto causal en el proceso PS).

cas. De este modo, desciende el número de axones que desembocan en una misma célula postsináptica y la cantidad de células postsinápticas con las que conecta un mismo axón. Por otro lado, se forman sinapsis adicionales que refuerzan las conexiones seleccionadas al iniciarse el aprendizaje.

- [III] *Relación con la memoria.* La reconfiguración neural y neuromuscular que se produce durante el proceso PS marca una especie de impronta memorística, lo que permite una ejecución cada vez más eficaz de los sonidos, hablas o acciones corporales que se emplearán en el desempeño de las habilidades aprendidas y, por qué no, en el de otras con similares características que puedan sobrevenir (cf. Moya 2006b, 199-200). En otras palabras: el aprendizaje de estas habilidades queda «fijado» en los tejidos biológicos mediante la poda sináptica. Así, un uso de la memoria basado esencialmente en la memoria de trabajo (e. g.: un aprendiz de violinista observa a su maestro tocar un nuevo acorde e inmediatamente trata de reproducirlo) evoluciona hacia un uso prioritario de la memoria a largo plazo (el aprendiz, convertido ya en violinista de la orquesta de Moya, ejecuta de un modo ágil y automático el primer movimiento de la Quinta Sinfonía de Beethoven).
- [IV] *Convergencia entre individuos.* La S-red única de cada individuo (más allá de las características neuroanatómicas propias de la especie) se reconfigura para conformar circuitos con redundancia y solapamiento gradualmente menores, y adaptados a las normas semánticas (ambiente) a las que el individuo se debe. Esto conduce a una suerte de «convergencia adaptativa» en la que se forman patrones similares (si bien no idénticos) en individuos con S-redes inicialmente dispares. Este sería el caso de los violinistas perfectamente sincronizados de la orquesta de Moya.
- [V] *Evolución de la densidad sináptica.* La densidad sináptica (número de sinapsis por unidad de volumen) varía a lo largo de una vida completa como manifestación de los cambios en la compleja interacción que se produce entre los procesos de neurogénesis (que implica la formación de nuevas sinapsis) y poda sináptica (en la que se reubican y se destruyen otras ya existentes). Esta evolución responde a las particularidades de cada etapa vital. Así, la densidad aumenta en los meses que siguen al nacimiento debido a una neurogénesis frenética, en consonancia con el desarrollo aún en marcha del sistema nervioso, pero disminuye progresivamente durante los años posteriores conforme dicho desarrollo llega a su fin. Otro ejemplo sería la estabilización de la densidad sináptica a partir de los treinta años, que, lejos de implicar inactividad, puede deberse a un equilibrio en el que la neurogénesis «inyecta» variabilidad neural (nuevas rutas) y la poda sináptica moldea, a partir de esta, circuitos asociados a nuevos procesos de aprendizaje; de este modo, el ser humano es capaz de adquirir destrezas sujetas a estándares semánticos en todas las épocas de su vida: hablar un idioma extranjero, respetar las señales de tráfico, tocar los acordes de guitarra de una canción a partir de su notación musical, emplear el braille, etc. En cualquier caso, elaborar un patrón universal de evolución de la densidad sináptica se antoja complicado a la vista de factores nada deseñables como el área nerviosa específica empleada para su medición o la variabilidad genética y ambiental.

[VI] *Hipótesis final*. Recordemos el concepto de causalidad mental que constituyó nuestra tesis de partida:

La causalidad mental es el proceso en el que ciertos eventos o estados, debido a sus *propiedades mentales*, constriñen el comportamiento mecánico de un organismo humano hasta el punto de provocar *cambios neurales y neuromusculares*.

En coherencia con lo expuesto en los puntos anteriores, proponemos acotar dicha tesis al caso específico de una modalidad de causalidad mental que nos hemos dado en llamar *poda semántica*:

HIPÓTESIS PS

La causalidad mental es el proceso en el que ciertos eventos o estados, debido a sus *propiedades semánticas (contenido y significado)*, constriñen el comportamiento mecánico de un organismo humano hasta el punto de provocar *la reconfiguración de sus conexiones neurales y neuromusculares en forma de poda sináptica*.

Así pues, la poda sináptica sería un efecto causal de carácter físico provocado por ciertos eventos o estados gracias a propiedades específicamente mentales de estos.

7. Poda semántica y causalidad

Si bien acabamos de enumerar los puntos esenciales de nuestro modelo, existen ciertos aspectos relativos al régimen causal del proceso PS que merecen algunas observaciones adicionales.

Como hemos visto, el modelo describe la causalidad mental en términos de constricciones normativas que gozan de influencia causal sobre la actividad de un mecanismo físico. En un trabajo reciente, Mossio *et al.* (2013) establecen las dos condiciones bajo las cuales una constricción «C» ejerce poderes causales sobre un proceso « P_{surr} », externo a dicha constricción.⁸ La primera condición es la siguiente:

A una escala de tiempo τ , *C se conserva durante todo P_{surr} , i. e.*, existe un conjunto de propiedades [...] S_p, \dots, S_n de C que permanecen inafectadas durante todo P_{surr} . (Mossio *et al.* 2013, 164)

La segunda condición es:

A [una escala de tiempo] τ , *C ejerce un papel causal sobre P_{surr} , i. e.*, existe alguna diferencia observable entre P_{surr} y P_{surr}^c (P_{surr}^c es P_{surr} bajo la influencia causal de C en virtud de las propiedades S_p, \dots, S_n). (Mossio *et al.* 2013, 164)

Tomadas conjuntamente, dichas condiciones garantizan el cumplimiento de una de las características de las relaciones causa-efecto que destacábamos en la sección 2: la *asimetría de la dependencia causal*, por la cual la causa provoca el efecto pero no viceversa. A una escala

⁸ En el trabajo citado, «surr» es una abreviatura que se refiere a los alrededores («surroundings») de C.

de tiempo τ_i , el efecto P_{surr}^c se produce bajo el influjo causal de C en virtud de las propiedades de esta, y sin embargo no es capaz de afectar a C. Ahora apliquemos al proceso PS las dos condiciones de modo tal que C se refiera a las constricciones normativas, con propiedades semánticas S_1, \dots, S_n (contenidos y significados), y que P_{surr} se refiera a la actividad del mecanismo S-red. Por su parte, τ_i se referirá a la escala temporal a la que S-red desempeña su actividad de transmisión del impulso nervioso, que consideraremos equivalente a una vida humana. En este marco, la poda sináptica (el efecto P_{surr}^c) se produce bajo la influencia de las constricciones semánticas en virtud de las propiedades de estas (contenidos y significados), y sin embargo, asumiendo que generalmente dichas propiedades no varían durante una vida humana media, no es capaz de influir sobre las constricciones.

Otra de las características que subrayábamos de las relaciones causa-efecto es su *asimetría temporal*: la causa precede al efecto. Las condiciones de Mossio *et al.* son compatibles con esta característica, si bien no garantizan su cumplimiento por sí solas, ya que también son compatibles con la sincronidad causa-efecto. Para que la asimetría quede garantizada debería añadirse una tercera condición: que C preceda temporalmente a P_{surr}^c . En nuestro caso parece razonable asumir que así sea. Pensemos, por ejemplo, en un infante que aprende el idioma que ya hablaban sus padres antes de su nacimiento o en un adulto que aprende a tocar un nuevo instrumento empleando partituras escritas siglos atrás.

La última de las características que resaltábamos de las relaciones entre causa y efecto es que se trata de *eventos distintos*, a saber: no son idénticos, no se superponen y no se comprenden el uno al otro. Nuevamente, las condiciones de Mossio *et al.* son compatibles con la característica pero no la garantizan. Son compatibles en virtud de la precondición por la cual P_{surr} es externo a C, que asegura el cumplimiento de la no superposición y la no comprensión mutua entre la causa C y el efecto P_{surr}^c (recordemos que P_{surr}^c es P_{surr}^c bajo el influjo causal de C, por lo que también es externo a esta). Pero dicha precondición no garantiza la no identidad entre C y P_{surr}^c , condición que deberíamos añadir para certificar que, efectivamente, estemos ante eventos distintos. Una buena forma de lograrlo es aceptar que P_{surr}^c tiene naturaleza física y C no. Tal es el caso en el modelo que proponemos, donde la poda sináptica (P_{surr}^c) es una manifestación física de un mecanismo que está sujeto a normas semánticas que actúan como constricciones (C) de carácter no físico.

Por otro lado, debemos señalar que, si bien PS constituye un proceso causal único, es posible distinguir dos grandes fases en su desarrollo. El proceso comienza con una fase causal *ambiente-mecanismo*, en la que las constricciones externas, mediante un cambio en el contexto en que S-red transmite el impulso nervioso (*i. e.*, una reducción de sus grados de libertad), activan selectivamente las conexiones sinápticas que portan la información normativamente adecuada. Pero la organización conjunta de las sinapsis, con múltiples y complejas interconexiones, permite que las constricciones comuniquen esta influencia causal en una fase de *propagación interna*. Durante esta, el efecto de la activación selectiva se difunde por S-red dentro de cada nivel (mecanismo en su totalidad y nivel basal de las sinapsis) y deriva, sin necesidad de apelar a problemáticos procesos causales todo-parte, en una poda sináptica.

8. Reflexiones finales

No hemos pretendido sugerir que la poda sináptica resulte únicamente de la influencia causal de los contenidos y significados, sino que dicha influencia podría sumarse a la del de-

sarrollo, empíricamente consolidada. Podría considerarse, incluso, la posibilidad de una cooperación causal en ciertas etapas de la vida. Además, no descartamos que, en el contexto de nuestra propuesta, la poda sináptica pueda verse complementada por otros procesos neurobiológicos, en especial aquellos que tienen que ver con la neuroplasticidad. Por ejemplo, cabría valorar la posibilidad de que episodios de neuroplasticidad a corto plazo, en los que la actividad sináptica reciente influye en la cantidad de neurotransmisor que se libera, antecedan a una fase de poda sináptica, mucho más potente en tanto en cuanto es capaz tanto de erradicar como de reforzar conexiones intercelulares.

Por otra parte, la velocidad a la que se desarrollan las técnicas de mapeo de las estructuras y conexiones nerviosas nos permite ser relativamente optimistas en cuanto a la verificabilidad empírica de nuestra hipótesis. A este respecto, podría resultar interesante el empleo de alguna técnica *in vivo* que permitiera: a) seguir en un grupo experimental la evolución de las rutas sinápticas situadas en áreas específicas durante todo un proceso de aprendizaje de destrezas sometidas a reglas de significado, b) efectuar el oportuno contraste con respecto a las mismas áreas en un grupo de control. En cambio, la medición de la densidad sináptica se nos antoja problemática, pues no permitiría detectar eventuales procesos de poda sináptica cualitativamente significativos pero con escasa relevancia cuantitativa: permanecerían ocultos en el balance total entre creación y destrucción de sinapsis. Este problema experimental resulta particularmente importante en el caso de los individuos plenamente adultos, ya que nuestra propuesta requiere que la poda sináptica se perpetúe más allá de la fase de desarrollo del sistema nervioso.

REFERENCIAS

- Atmanspacher, Harald. 2012. Identifying mental states from neural states under mental constraints. *Interface Focus* 2: 74-81.
- Bechtel, William. 2017. Explicating top-down causation using networks and dynamics. *Philosophy of Science* 84: 253-274.
- Bishop, Robert C. 2005. Patching physics and chemistry together. *Philosophy of Science* 72: 710-722.
- . 2011. Metaphysical and epistemological issues in complex systems. En Cliff Hooker, ed., *Philosophy of complex systems*, 105-136. Ámsterdam: North Holland.
- . 2012. Excluding the causal exclusion argument against non-reductive physicalism. *Journal of Consciousness Studies* 19: 57-74.
- Bishop, Robert C., y Harald Atmanspacher. 2006. Contextual emergence in the description of properties. *Foundations of Physics* 36: 1753-1777.
- Chalmers, David J. 2006. Strong and weak emergence. En Philip Clayton y Paul Davies, eds., *The re-emergence of emergence*, 244-254. Oxford: Oxford University Press.
- Changeux, Jean-Pierre. 2012. *The good, the true, and the beautiful*. New Haven y Londres: Yale University Press.
- Craver, Carl F. 2007. *Explaining the brain*. Oxford: Clarendon Press.
- Craver, Carl F., y William Bechtel. 2007. Top-down causation without top-down causes. *Biology and Philosophy* 22: 547-563.
- . 2013. Interlevel causation. En Werner Dubitzky, Olaf Wolkenhauer, Kwang-Hyun Cho y Hiroki Yokota, eds., *Encyclopedia of systems biology*, 1044-1047. Nueva York: Springer.
- Dretske, Fred. 1988. *Explaining behavior*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- . 1993. Mental events as structuring causes of behaviour. En John Heil y Alfred R. Mele, eds., *Mental causation*, 121-136. Oxford: Clarendon Press.

- . 2009. What must actions be for reasons to explain them? En Constantine Sandis, ed., *New essays on the explanation of action*, 13-21. Basingstoke, Reino Unido: Palgrave Macmillan.
- Emmeche, Claus, Simo Køppe y Frederik Stjernfelt. 1997. Explaining emergence: Towards an ontology of levels. *Journal for General Philosophy of Science* 28: 83-119.
- Engelhardt, Jeff. 2015. What is the exclusion problem? *Pacific Philosophical Quarterly* 96: 205-232.
- Haug, Matthew C. 2010. The exclusion problem meets the problem of many causes. *Erkenntnis* 73: 55-65.
- Hebb, Donald O. 1949. *The organization of behavior*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Huttenlocher, Peter R. 1979. Synaptic density in human frontal cortex — developmental changes and effects of aging. *Brain Research* 163: 195-205.
- Huttenlocher, Peter R., y Arun S. Dabholkar. 1997. Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology* 387: 167-178.
- Kim, Jaegwon. 1984. Concepts of supervenience. *Philosophy and Phenomenological Research* 45: 153-176.
- . 1993. The non-reductivist's troubles with mental causation. En John Heil y Alfred R. Mele, eds., *Mental causation*, 189-210. Oxford: Clarendon Press.
- . 1998. *Mind in a physical world*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- . 2010. *Essays in the metaphysics of mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Mossio, Matteo, Leonardo Bich y Álvaro Moreno. 2013. Emergence, closure and inter-level causation in biological systems. *Erkenntnis* 78: 153-178.
- Moya, Carlos J. 2006a. *Filosofía de la mente (2ª ed.)*. Valencia: PUV.
- . 2006b. *Moral responsibility*. Nueva York: Routledge.
- . 2011. Mind, brain, and downward causation. En Juan J. Sanguinetti, Ariberto Acerbi y José A. Lombo, eds., *Moral behavior and free will*, 185-200. Morolo, Italia: IF Press.
- . 2012. El problema de lo mental. *Thémata* 46: 43-55.
- Muñoz, José M. 2016. Libre albedrío y responsabilidad moral: Una aproximación desde la neurociencia. Tesis doctoral, UNED.
- Murphy, Nancey. 2011. Avoiding neurobiological reductionism: The role of downward causation in complex systems. En Juan J. Sanguinetti, Ariberto Acerbi y José A. Lombo, eds., *Moral behavior and free will*, 201-222. Morolo, Italia: IF Press.
- Petanjek, Zdravko, Miloš Judaš, Goran Šimić, Mladen R. Rašin, Harry B. M. Uylings, Pasko Rakic e Ivica Kostović. 2011. Extraordinary neoteny of synaptic spines in the human prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 108: 13281-13286.
- Ramón y Cajal, Santiago. 1999. *Reglas y consejos sobre investigación científica*. Madrid: Cyan.
- Spalding, Kirsty L., Olaf Bergmann, Kanar Alkass, Samuel Bernard, Mehran Salehpour, Hagen B. Huttner, Emil Boström, Isabelle Westerlund, Céline Vial, Bruce A. Buchholz, Göran Possnert, Deborah C. Mash, Henrik Druid y Jonas Frisé. 2013. Dynamics of hippocampal neurogenesis in adult humans. *Cell* 153: 1219-1227.
- Tapia, Juan C., y Jeff W. Lichtman. 2008. Synapse elimination. En Larry R. Squire, Darwin Berg, Floyd E. Bloom, Sascha du Lac, Anirvan Ghosh y Nicholas C. Spitzer, eds., *Fundamental neuroscience (3rd ed.)*, 469-490. Burlington, Massachusetts: Academic Press.
- Umerez, Jon, y Matteo Mossio. 2013. Constraint. En Werner Dubitzky, Olaf Wolkenhauer, Kwang-Hyun Cho y Hiroki Yokota, eds., *Encyclopedia of systems biology*, 490-493. Nueva York: Springer.
- Vicente, Agustín. 2001. Realization, determination and mental causation. *Theoria* 16: 77-94.
- . 2007. Los problemas de la mente. *Estudios de Psicología* 28: 155-166.

JOSÉ MANUEL MUÑOZ es profesor de la Universidad Europea de Valencia y colaborador externo de investigación en el Grupo Mente-cerebro del Instituto Cultura y Sociedad de la Universidad de Navarra. Sus publicaciones e intereses de investigación tienen que ver con la relación entre filosofía y neurociencia, la filosofía de la mente y el libre albedrío. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1456-9439>

DIRECCIÓN: Paseo de la Alameda, 7; C.P. 46023, Valencia (España).
Correo electrónico: jomuor@gmail.com. **URL:** <https://universidadeuropea.academia.edu/jmmunoz>