

Clases naturales en la neurociencia cognitiva: la controversia continúa*

Natural Kinds in the Brain Sciences: The Debate is Still Alive

Jonatan García Campos[†]
Paola Hernández Chávez[‡]
Maximiliano Martínez[§]
Roberto Soto López^{††*}

Resumen

En este artículo analizamos algunas clasificaciones de la Neurociencias dando un espacio para evaluar, actualizar y mejorar nuestras ideas sobre el debate de la realizabilidad múltiple (RM) y las clases naturales (CNs) de la Biología. La realizabilidad múltiple, la posibilidad de lograr un fin mediante medios diversos o causalmente inesperados, ha sido una postura teóricamente incómoda en la ciencia, a pesar de haber permeado campos tan remotos como las Neurociencias. Se ha aducido que el éxito de las neurociencias se basa principalmente en cuatro supuestos: 1) las comparaciones entre especies, 2) la continuidad de mecanismos neurales entre éstas, 3) la unicidad de las funciones cerebrales, 4) la existencia de un sustrato neuronal común. En este artículo nos remitimos a evidencia extraída de neuroanatomía comparada entre especies, específicamente a las hipótesis y reglas de la evolución cerebral interespecíficas y al Proyecto del Cerebro Humano (Human Brain Project o HBP, por sus siglas en inglés) para cuestionar 1-4. Esto nos permitirá sostener que la realizabilidad múltiple no puede descartarse de la neurociencia actual.

Palabras clave: realizabilidad múltiple - clases naturales - neurociencias

Abstract

In this article we analyze Brain Sciences classifications as a room for assessing, updating and improving our current ideas about multiple realizability (MR) and Biology's natural kinds (NKs) debate. Multiple realizability, the possibility of achieving a goal by several causally unexpected means has historically being a displeasing position. Nonetheless, it has permeated distant fields of the original debate such as Brain Sciences. It has been thought that the success of neurosciences rests in four claims: 1) Interspecific comparisons; 2) Continuity of neural mechanisms across species; 3) Uniqueness of functions of the brain; 4) A common neural grain. In this article, we refer to evidence from Comparative Neuroanatomy across species, specifically to hypothesis and rules of brain evolution among species, and the Human Brain Project, to cast doubts about 1-4. This will allow us to attest that multiple realizability cannot be precluded in current Brain Sciences.

Keywords: multiple realizability - natural kinds - brain sciences

* Recibido: 2 de Junio de 2016. Aceptado con revisiones: 5 de Diciembre de 2016.

[†] Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED).

[‡] Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano (CEFPSVLT).

[§] Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa.

^{††} Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.

** Los autores se citan alfabéticamente, cada uno contribuyó igualmente al presente artículo. Para contactar a los autores, por favor, escribir a: hcpaola@gmail.com.

Metatheoria 8(2)(2018): 37-50. ISSN 1853-2322.

© Editorial de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Publicado en la República Argentina.

1. Introducción

Clasificar el mundo en regularidades es una habilidad que utilizamos los humanos para dar sentido a nuestro entorno. Las clasificaciones y categorizaciones han sido recurrentes a lo largo de la historia de la ciencia, como en la física, la biología, y la química. Y recientemente también en las neurociencias, debido al impacto que estas tienen a partir de la implementación de novedosos recursos tecnológicos, a sus numerosos resultados y a la atención pública que atraen. No obstante, más allá de destacar su éxito, debemos destacar la falta de más estudios sobre el uso de las clasificaciones neurocientíficas y la presencia de la RM en ellas.

La primera sección de este trabajo es un breve recuento de los orígenes de la idea de la RM desde una perspectiva filosófica, y su relación con el llamado debate de las CNs. La segunda sección describe el problema de la RM y las CNs en la biología. La tercera parte da cuenta de la RM en las neurociencias. La cuarta sección alude a la evidencia de las neurociencias, en especial la de la neuroanatomía comparativa, para así poner en duda: las comparaciones interespecíficas, la continuidad interespecífica de mecanismos neurales y la presencia de un sustrato neuronal común. En conjunto, se hace patente que no se puede descartar la RM. La quinta sección explica por qué lo anterior se aplica incluso a la iniciativa del HBP, y por qué ésta no puede proclamar un éxito total de las neurociencias. En la parte final, describimos la paradoja de las CNs.

2. Las clases naturales y la realizabilidad múltiple

Los defensores de las CNs son aquellos que suscriben la idea de que nuestras taxonomías básicas representan categorías ontológicas reales de la Naturaleza, creen que el trabajo de la ciencia es agrupar las cosas del mundo de acuerdo a sus propiedades y relaciones causales. En otras palabras, agrupan entidades y fenómenos dando por sentado que sí hay leyes de la Naturaleza y que ésta opera de acuerdo al principio de causalidad cerrada.

Estas ideas contrastan con el instrumentalismo (también llamado naturalismo o pragmatismo) que, al carecer de un compromiso ontológico, relaja los criterios de las taxonomías y se sirve de ellas únicamente como herramientas epistemológicas con poder explicativo. Así, agrupan los objetos del mundo mediante inferencias confiables con el único fin de proveer explicaciones exitosas y predecir fenómenos.

Ambas posturas tienen sus desventajas. Por un lado, un instrumentalismo de clases científicas, es decir, considerar que la práctica científica es el único criterio para legitimar clasificaciones, puede ser peligroso ya que la historia de la ciencia nos ha enseñado que una práctica científica puede prevalecer por siglos con clasificaciones que eventualmente resultan ser espurias. Similarmente, tratar de elucidar la totalidad de las propiedades causales subyacentes a la naturaleza para generar la agrupación taxonómica de una clase de objetos implicaría el conocimiento total de ella que nos llevaría en círculo, puesto que dicha clasificación es necesaria para la práctica científica que busca entender la naturaleza.

Es aquí donde la RM entra en juego. La RM implica que podríamos tener dos entidades distintas (partes del cuerpo, sustratos neurales, componentes físicos o virtuales, etc.) destinadas a lograr la misma función (estado mental, tarea cognitiva, instrucción o meta) pero mediante mecanismos diferentes. En breve, el tener diferentes modos operativo-causales para el logro de un mismo fin equivale a tener un caso de RM.

En la filosofía de la mente del siglo XX era bien aceptado que los estados psicológicos se realizaban de maneras múltiples (Putnam 1967). Un ejemplo muy conocido de la RM para un mismo estado psicológico es el del dolor, ya que el fenómeno del dolor se presenta con tolerancias, vías y causas distintas entre una especie y otra, e incluso entre individuos de la misma especie. En este sentido Fodor (1974) afirmó que para criaturas con distintas estructuras físicas era posible tener el mismo estado psicológico.

Similarmente, Shapiro (2000) declaró que un mismo estado mental como sentir dolor puede realizarse de diferentes formas (físicas). Como otro caso, es posible que el mismo estado cognitivo pueda lograrse mediante distintos sustratos cerebrales, como cuando dos sujetos llevan a cabo la misma tarea cognitiva pero el escaneo cerebral muestra que tienen diferentes patrones de actividad.

Uno de los más notables inconvenientes de la RM es que, como notó Kim (1992), las clases funcionales que se alcanzan de múltiples maneras no son proyectables. Esto es, cuando los miembros de una clase carecen de una única y misma base causal, no es posible hacer proyecciones y generalizaciones inductivas sobre ellos. A partir de ahí, Kim (1992) conjeturó que los fenómenos con diferente realización causal pertenecen a clases distintas, esto es, los fenómenos que son estructuralmente independientes no pertenecen a la misma clase causal.

No es difícil anticipar el por qué la RM no tiene buena reputación: asumen compromisos epistemológicos y empíricos que hacen difícil lograr sistematizar experimentos, en tanto tienen 'múltiples' rutas causales. Ahora que hemos hecho un bosquejo de la relación entre las CNs y la RM, podemos concentrar la discusión a un campo particular.

3. Las clases naturales y la realizabilidad múltiple en biología

El debate respecto a las CNs se ha movido desde una versión suave y naturalizada, conocida como debate sobre las clases científicas (CCs) –que se caracteriza por una confianza profunda en la práctica científica–, hasta las versiones que abiertamente se niegan a hablar sobre las CNs; esto a partir de su reticencia respecto a los compromisos ontológicos.

Un enfoque sofisticado sobre el debate de las CNs en biología es la teoría del agrupamiento por propiedades homeostáticas (en adelante HPCT, por sus siglas en inglés) de Richard Boyd (1990, 1991, 1999a, 1999b, 2000). La HPCT describe a las CNs como agrupaciones que se logran a partir de una convergencia homeostática de propiedades. Para Boyd los agrupamientos en clases pueden modificarse a la luz de nuevas observaciones o cuando las inferencias fallan, ya que la definición de clases es a posteriori (Boyd 2000, p. 54). Él considera que las clasificaciones que se usan en las ciencias no implican características del mundo, sino productos de nuestro compromiso con él. Más precisamente, las CNs son conjuntos de entidades que comparten un grupo de propiedades proyectables, que se basan en la homeostasis de mecanismos causales; entendidos como cualquier cosa que causa un agrupamiento repetido de propiedades. La similitud o semejanza relevante es todo lo que se necesita para otorgarle un uso epistémico.

En otras palabras, los indicadores causales son la base para elaborar inferencias sobre entes, que agrupamos como pertenecientes a una misma clase. Como expone Boyd: “la teoría de las clases naturales concierne a cómo los esquemas de clasificación contribuyen a la formulación e identificación de hipótesis proyectables” (Boyd 1999, p. 147). En contraste, para Boyd, si no podemos hacer proyecciones ni generalizaciones inductivas de un caso, como cuando presumiblemente puede realizarse de maneras múltiples, ese caso no puede ser considerado como una CN.

Un análisis que mejoró la HPCT de Boyd es el elaborado por Ereshefsky y Reydon (2015). En su análisis, los autores comienzan por rastrear una variedad de prácticas clasificatorias exitosas de la ciencia, con la intención de destacar los múltiples criterios que tienen los científicos al construir clasificaciones, si bien rechazan que cualquier clasificación ofrecida por un científico represente una CN. La crítica de Ereshefsky y Reydon (2015) al argumento de Boyd es que la HPCT no aporta un recuento global de las clasificaciones científicas, tampoco sobre las CNs, porque no logra dar cuenta de muchas de las prácticas científicas exitosas, como: clases no-causales, clases funcionales y clases heteroestáticas.²

² En el caso de las clases no-causales, Ereshefsky y Reydon (2015) sostienen que la HPCT no incorpora las clasificaciones de varios fenómenos de la vida, como el concepto filo-fenético de especie (PPSC, por sus siglas en inglés) de los microbiólogos, siendo notorio el caso de los microbios (clases estables), pues no existen buenas descripciones sobre los mecanismos causales que subyacen a las especies bacterianas en esa práctica taxonómica. De manera similar, cuando los astrofísicos hacen hipótesis sobre nuevas clases estelares, es sólo para encontrar clases estables e inmediatamente identificables. La lección obtenida de Ereshefsky y Reydon (2015) es que el entusiasmo

Ereshefsky y Reydon (2015) introdujeron la idea de un programa clasificatorio,³ dividida en tres partes: principios de ordenamiento, principios de motivación y por último clasificaciones. Enseguida, sostienen que las clasificaciones que describen las CNs debieran contener: coherencia interna, comprobación empírica y progresividad.

Posiblemente, entre las principales virtudes de la propuesta de Ereshefsky y Reydon (2015) están que sus criterios no están comprometidos con la existencia y/o compromiso ontológico de las CNs, e incorporan una gama mucho más amplia de prácticas científicas.⁴

Para resumir, los miembros de una clase idealmente deberían ser causados por propiedades reales del mundo, y, sería valioso identificar y especificar los mecanismos causales responsables del agrupamiento de propiedades, ya que se desea evitar clasificaciones arbitrarias. Sin embargo, los mecanismos causales subyacentes a una CN no siempre se presentan de manera homogénea ni definida. Esa es la razón por la cual en diversos campos el debate sobre las CNs se ha movido hacia el estudio de las prácticas científicas en una versión más suave conocida como clases científicas (Ccs).

En cualquier caso, la disputa se ha extendido hacia las ciencias del cerebro. Como veremos más adelante, se ha asumido que el éxito de las neurociencias es el resultado de un uso clasificatorio adecuado. ¿Es así por su confianza en la existencia de las CNs, como cuando asumen que entre especies existe una continuidad de mecanismos neuronales?

En lo que sigue, analizaremos algunos usos de las CNs y las clasificaciones entre los neurocientíficos. En concreto, si están fuera de duda: 1) las comparaciones interespecíficas, 2) la continuidad interespecífica de mecanismos neurales, 3) la unicidad de las funciones cerebrales, y 4) la existencia sustratos neuronales comunes.

4. Las clases naturales y realizabilidad múltiple en las ciencias del cerebro

Al conjugar las CNs y neurociencias, Craver (2007) detectó que la neurociencia erróneamente divide fenómenos que, de forma natural, deberían agruparse. De manera similar, Bechtel (2008) señaló que los científicos representan y construyen mecanismos, pero no los descubren, por consiguiente, puede que no estén representando con exactitud los mecanismos operativos en el mundo (Bechtel 2008, p. 19). Desde una postura normativa, ambos sostienen que los neurocientíficos deberían buscar proveer representaciones exactas de los mecanismos que subyacen al fenómeno.

También Piccinini y Craver (2011) enunciaron afirmaciones normativas para las neurociencias. Con el objetivo de descubrir clases naturales, ellos promovieron la agrupación mediante propiedades mecanísticas (MPCs, por sus siglas en inglés). Los MPC's promueven las explicaciones por medio de mecanismos causales que aseguren que las propiedades se conjugan. Para ellos, la neurociencia típicamente agrupa fenómenos pero sólo conforme a características superficiales que, generalmente, no describen mecanismos. Así, ellos recomiendan que las explicaciones debieran ser mecanicistas.

En una línea similar pero más imparcial, Sullivan (2016) argumenta que la práctica científica de las neurociencias cognitivas no se encuentra aún en la trayectoria de descubrir CNs para capacidades cognitivas ni para sus mecanismos. Así, ofrece algunas distinciones conceptuales con el fin de identificar y analizar las clases de manera diferente, tales como las prácticas conceptuales y

de los filósofos por la causalidad no es universal entre estos científicos. Respecto a las clases funcionales, las funciones son vulnerables de por sí a la RM (puesto que la función que caracteriza a una clase puede realizarse a partir de entidades con estructuras o propiedades diferentes) y dichas clases caen fuera del ámbito de la HPCT. Un caso perfecto son los genes. Como lo expresan Ereshefsky y Reydon (2015), no existe un mapeo único de los productos de expresión molecular en las secuencias de ADN; la misma secuencia puede contar como un gen en un contexto celular y no hacerlo en otro. El punto de Ereshefsky y Reydon (2015) es que la HPCT no puede aplicarse a las clases de las ontologías biomédicas. Sobre las clases heteroestáticas, Ereshefsky y Reydon (2015) sostienen que la HPCT sólo se enfoca en clases con propiedades similares, mientras que en la práctica científica muchas clasificaciones contienen entidades con diferencias agudas. Como un caso, los taxones biológicos (especies, géneros, familias, etc.) presentan diferencias persistentes características de un mismo taxón. La lección es que necesitan explicarse no sólo los mecanismos homeostáticos que causan similitudes, sino también la heterogeneidad estable entre las clasificaciones.

³ Entendido como la parte de la disciplina científica que produce una clasificación.

⁴ Una posible crítica a Ereshefsky y Reydon (2015) sería que, para abarcar todas las prácticas clasificatorias exitosas necesitan distorsionar algunas prácticas heurísticas mediante las cuales se logran postular clases naturales.

experimentales integrativas. Sobre estas bases, podríamos evaluar si la neurociencia está promoviendo y descubriendo clases naturales para capacidades cognitivas.

En conjunto, el reto principal de los enfoques normativos recién esbozados sería trasladarlos a la práctica y persuadir a los neurocientíficos de que sus taxonomías y entidades deberían corresponder con divisiones causales reales de la Naturaleza, para a partir de eso postular o no CNs. Sin embargo, si se cuestiona a un neurocientífico sobre su búsqueda de CNs o explicaciones de los mecanismos que subyacen a la estructura causal del mundo, seguramente nos contestara que él está ocupado en construir esta información, sino en ‘descubrirla’. Inclusive, nos podía responder que la neurociencia hace localizaciones, teoriza, integra descubrimientos, predice, valida, etc., sin necesidad de comprometerse con CNs. Claramente, ellos están conscientes de lo no-concluyente que es la neurociencia, aunque no compartan fundamentos filosóficos o restricciones normativas, puesto que rastrear CNs está más allá de sus objetivos. Aquí es donde un acercamiento a las CNs consistente con la práctica científica actual es bienvenido, como el propuesto por Ereshefsky y Reydon (2015).

Ahora es preciso hablar sobre la RM y las neurociencias. Aunque los neurocientíficos no estén conscientes del debate de las CNs, sí hacen clasificaciones que son cruciales de analizar.

4.1. Algunas críticas positivas y negativas a la RM

La RM ha estado ligada a la neurociencia, tal como ha sido destacado por algunos filósofos, algunos de los cuales han argumentado en su contra. Afirman que es muy probable que el éxito de la neurociencia se deba a que existe una supuesta continuidad interespecífica de mecanismos neuronales (Kim 1992, Bickle 1998). Las premisas son sencillas: la neurociencia asume una continuidad interespecífica, la neurociencia hace uso de clasificaciones exitosas, la neurociencia no sería tan exitosa si la realizabilidad múltiple fuera el denominador común. Por lo tanto, es poco probable que la RM sea frecuente en la neurociencia. Un ejemplo de continuidad interespecífica de mecanismos neuronales es el sistema visual de los macacos, que se piensa que es continuo al mecanismo de procesamiento visual humano (analizaremos este caso en la siguiente sección).

En la misma línea, Bechtel y Mundale (1999, p. 201) afirmaron que la aparente RM de funciones psicológicas se basaba en un error metodológico. Más específicamente, desde las secciones 1-3 de su artículo, Bechtel y Mundale (1999) concluyeron que la RM de funciones psicológicas era insostenible porque la investigación del mapeo cerebral utilizaba eficientemente la clasificación de función psicológica y también lograba comparaciones interespecíficas exitosas.⁵ En la sección 4, Bechtel y Mundale (1999) enfatizaron la forma en que la información que se tenía del cerebro guiaba las formulaciones psicológicas, como en la elaboración de teorías sobre cómo ocurre el procesamiento cerebral. En la quinta parte, Bechtel y Mundale (1999) sostuvieron que sí se podría describir una porción del cerebro que únicamente llevara a cabo una única función psicológica. No nos detendremos a argumentar en contra de este punto en particular, ya que la unicidad de las funciones cerebrales ha sido puesta en duda en otro sitio (Hernández-Chávez 2016). En particular, se ha mostrado que las correlaciones entre una activación cerebral y una tarea cognitiva están sujetas a diversas debilidades provenientes de sus metodologías, como la doble disociación, la lógica de la sustracción, la suposición de la normalidad residual, entre otras.

Además de Bechtel y Mundale (1999), se formularon otras propuestas para argumentar en contra de la RM de funciones cognitivas basadas en el uso de evidencia neurocientífica. Entre los casos que podemos citar están Shagrir (1998), quien sostiene que las diversas estructuras y propiedades neurocientíficas no conducen necesariamente a una realización múltiple. Otro caso es Lawrence Shapiro, quien en su famoso texto de (2004) determinó que la RM en mentes similares a la humana no es una posibilidad real, ello a partir de evidencia de la neurociencia, la teoría evolutiva y la cognición corporeizada. Para Shapiro (2004), existe una tesis más plausible, la tesis de constreñimiento mental, la

⁵ Aizawa (2009) se pronunció en contra del argumento central de Bechtel y Mundale (1999). En él, mostró por qué Bechtel y Mundale malinterpretaron la naturaleza del mapeo anatómico del cerebro. Entre otras cosas, Aizawa defendió que no es verdad que si las propiedades psicológicas fueran realizables de manera múltiple, entonces las taxonomías del cerebro se debieran llevar a cabo independientemente de las comparaciones del cerebro en diversas especies animales. En breve apuntaremos hacia esa dirección.

cual enuncia que sólo existe una forma de lograr una mente similar a la humana. Hasta ahora, no es claro en qué medida la tesis de constreñimiento mental de Shapiro contraviene la evidencia empírica de la RM, aunque no profundizaremos más en ello.

También existen posturas intermedias como la de Aizawa (2009), centrada en los argumentos presentados contra la RM. Ahí se sostiene que la evidencia de actividad cerebral usada por Bechtel y Mundale (1999) en detrimento de la RM constituye una hipótesis defectuosa.

Entre los abiertos defensores de la RM encontramos a Figdor (2010), cuya afirmación central es que el argumento de la RM sostenido por los enemigos del fisicalismo reduccionista, es una hipótesis empírica viva en la neurociencia cognitiva. En concreto, los mismos neurocientíficos emplean un concepto de RM basado en la biología, como alternativa a los mapeos uno a uno de estructura-función. Figdor (2010) asevera, contrariamente a la afirmación de Bechtel y Mundale (1999), que la plausibilidad empírica de la RM no se “evapora” a la luz de la investigación científica.

Ahora bien, en lugar de sólo coincidir con una defensa o negación particular de la RM, o quedarse atorado en los argumentos, enseguida incorporaremos algunos descubrimientos empíricos que hacen inminente detenernos a reconsiderar el debate que circunda la RM y las CNs.

5. Evidencia neurocientífica que no permite descartar la realizabilidad múltiple

En esta sección, sostenemos que la RM actualmente persiste en las neurociencias. En primer lugar, explicamos cómo el pretendido éxito de la neurociencia se basa en: 1) comparaciones interespecíficas, 2) la continuidad interespecífica de mecanismos neuronales, 3) la unicidad de las funciones cerebrales, 4) un sustrato neuronal común. Intentaremos mostrar que éstas no son verdades intocables de la neurociencia. Uno de nosotros ha mostrado en otro sitio (Hernández-Chávez 2016) la falsedad de la unicidad de las funciones cerebrales (3), con base en que: a) la localización de las funciones motoras y sensoriales son suposiciones ingenuas e imprecisas, b) la modularidad no es un proceso innato y c) existen consecuencias desfavorables cuando tratamos de establecer correlaciones biunívocas entre una activación cerebral específica y una tarea cognitiva. En lo que sigue, nos concentraremos en poner en duda 1, 2 y 4 haciendo uso de evidencia proveniente de la neuroanatomía comparada de estructuras cerebrales en distintas especies.

5.1. Diferencias en los patrones de evolución cerebral de distintas especies

Como vimos arriba, comúnmente se piensa que el rotundo éxito de las neurociencias podría deber sus méritos a la suposición de continuidad interespecífica de mecanismos neuronales (Kim 1992, Bickle 1998, Bechtel & Mundale 1999), lo cual haría inviable la presencia de la RM. Enseguida describiremos esta suposición y analizaremos sus problemas.

Claramente, existen reglas bien establecidas de la evolución y del desarrollo cerebral en distintas especies. Hacia eso apuntan las hipótesis sobre la similitud cerebral entre ellas. D’Arcy Thompson expresa claramente esta idea en su libro *Sobre el crecimiento y la forma*, cuando relata que se cae “fácilmente en el hábito de pensar y hablar de la evolución como si ésta hubiera actuado siguiendo las bases de sus propias descripciones, punto por punto y carácter por carácter” (Thompson 1959, p. 1036).

Entrando al especializado campo de la neuroanatomía comparada, mucha de la cual se hizo accesible gracias al libro de Striedter (2005), encontramos que existen bastantes trabajos que muestran cómo las conexiones se han conservado entre los vertebrados, tal como se aprecia en las siguientes citas:

Las proyecciones varían principalmente en cantidad y grados de diferenciación, pero son centrales para los mismos objetivos y nunca para un objetivo inusual (Ebbeson 1980, p. 185).

Muchos, si no es que la mayoría, de las rutas neuronales parecen ser muy estables filogenéticamente, y la mayoría de éstas parecen haber surgido con los vertebrados, o un poco después, con el surgimiento de los vertebrados de mandíbula articulada (Northcutt 1984, p. 70).

Al parecer, la evolución del sistema nervioso central se ha conservado mucho más de lo que nuestros predecesores, los científicos de hace 50 años, habían sospechado (Hodos & Butler 1997, p. 190).

Por consiguiente, son cruciales las similitudes cerebrales en especies. Sería casi imposible extrapolar los resultados experimentales sin ellas. Ahora bien, es importante tener en mente la dinámica detrás de esta línea de pensamiento. Al prestar atención a las correlaciones, los biólogos, así como los neuroanatomistas comparativos, están tratando de reducir las diferencias al mínimo. Como expresa Gould, ellos no hacen esto “por la satisfacción intelectual que brinda la simplificación, sino porque el sistema abstracto de factores puede ligarse más fácilmente a una sola causa” (Gould, en Grene & Mendelsohn 1976, p. 90).

Sin embargo, las excepciones también son un hecho. Se puede contrastar la neurona de un ratón de laboratorio, conectada con alrededor de otras 500 neuronas, con una neurona del cerebro humano, que se une con aproximadamente 100 billones de neuronas (Striedter 2005, p. 217). Otro caso interesante es la estabilidad filogenética (de Northcutt 1984), o las diferencias de masas celulares en especies cercanamente relacionadas.⁶ Uno de los hechos más fascinantes es que los cambios en una parte del cerebro se relacionan con cambios en otras partes interconectadas, como veremos más adelante.

Por tanto, al comparar estructuras cerebrales entre especies, es importante estudiar tanto las similitudes como las diferencias, ya que la complejidad del cerebro y los diversos patrones de conectividad en especies son hechos consumados. Hagamos ahora una lista breve de algunas de las reglas e hipótesis de la evolución del cerebro, así como de la suposición de homología/convergencia para sustentar los siguientes apartados.

5.2. Reglas e hipótesis de la evolución cerebral entre especies

Las diferencias funcionales entre especies están relacionadas, principal pero no únicamente, con diferencias en la conectividad neuronal, o más precisamente, a variaciones filogenéticas de las conexiones neuronales. En otras palabras, frecuentemente se asume que diferencias en la estructura cerebral de las distintas especies nos permiten comprender cómo cada una de ellas lleva a cabo y logra sus funciones motoras y cognitivas particulares. Esto se hace más evidente al comparar grupos que se relacionan distalmente. Por consiguiente, para lograr explicar las diferencias entre especies es crucial comprender las reglas evolutivas que subyacen y actúan en ellas.

Entre las distintas reglas e hipótesis de la evolución cerebral entre especies, podemos mencionar (tomadas de Striedter 2005):

1. La evolución concertada. Ocurre cuando una y todas las regiones cerebrales individuales crecen de acuerdo y en proporción a todas las otras partes del cerebro y del cuerpo, es decir, que las partes cerebrales crecen alométricamente.
2. La evolución en mosaico. Ocurre cuando una región cerebral individual crece de manera independiente a las otras, esto es, cuando debido a una presión selectiva, una región del cerebro cambia sin relación al tamaño de todas las otras regiones del cerebro o del cuerpo.
3. Las cascadas epigenéticas. Éstas tienen lugar cuando el cambio en una región cerebral debido a fuerzas ambientales, propaga el cambio a lo largo de todas las estructuras cerebrales, en forma de efectos en cascada.
4. La atenuación de las cascadas. La atenuación ocurre cuando hay factores ambientales que contrarrestan y obstaculizan que los efectos en cascada se propaguen, tales como resistir la pérdida de algunas conexiones neuronales.
5. La invasión de conexiones corticales. Ésta ocurre cuando, durante la evolución, una región cerebral se hace mucho más grande en términos de conexiones neuronales.

⁶ Para una discusión detallada, véase Nieuwenhuys, Donkelaar y Nicholson (2014, p. 293), donde comentan sobre el caso de cómo sistemas con masas celulares aparentemente homólogas terminan siendo no homólogas.

6. Áreas cerebrales grandes equivale a bien conectadas. Esta regla nos dice que los cambios en la conectividad de una región se relacionan con los cambios en otras áreas. Es decir, que entre más grande sea el área cerebral, estará mejor conectada con otras áreas, así como cuando hay una región cortical grande que invade y se hace más grande.
7. La parcelación. Esta regla tiene lugar cuando existe una pérdida selectiva de conexiones neuronales que promueven a las más complejas. Por ejemplo, cuando se da una parcelación ontogenética y ocurre una depuración de viejas conexiones para facilitar la consolidación y germinación de las más útiles.
8. La arquitectura de mundo pequeño o “ahorro de cableado”. Consiste en la tendencia a formar pequeñas conexiones en el sistema nervioso. También se conoce como la regla de disminución de la densidad de conexión con el fin de promover que los cerebros se modularicen más, esto es, que las regiones cerebrales sean funcionalmente más independientes y más especializadas.

Si bien como expresa Striedter, “Ninguna regla o principio aislado nos ofrece una comprensión realista de cómo evolucionaron los cerebros” (2005, p. 220), es importante destacar algunas consideraciones importantes sobre las reglas de la evolución cerebral entre especies: a) una regla coexiste con otras reglas, no hay principios operativos que se excluyan mutuamente; b) se fijan heterogéneamente dependiendo de si es un sistema motor, un proceso cognitivo, o si el sistema sufre de severas restricciones ambientales; c) entre más distantes sean dos especies, se encontrarán más diferencias en la conexión neuronal, así que es necesario indagar más profundamente en las similitudes y diferencias en las estructuras cerebrales de los humanos y otras especies; d) todavía no sabemos lo suficiente sobre los sistemas compensatorios ni regulativos de los efectos cascada. Por ejemplo, cómo y en qué medida un cambio en una región cerebral se extiende a otras áreas cerebrales.

Dado que el objetivo de este artículo no es describir las reglas más significativas de la evolución cerebral, sólo enfatizaremos sobre tres de ellas que son relevantes para nuestro argumento. El principio de cascadas epigenéticas (3) lo podemos rastrear hasta Wilczynski (1984). Él enunció que los cambios en el tamaño de una región cerebral pueden inducir epigenéticamente cambios recíprocos en el tamaño de las regiones con que se interconectan. En otras palabras, las variaciones en el tamaño de una región cerebral pueden propagarse profusamente en un sistema neuronal o llegar a abarcar todo el cerebro. No obstante, las cascadas también pueden atenuarse (4) debido a fuerzas ambientales. Por lo tanto, la evolución en mosaico (2) podría ocurrir, lo que significa que la evolución puede cambiar el tamaño de una región cerebral sin necesariamente cambiar el tamaño de todas las demás regiones. Pasemos ahora al último elemento que necesitamos para formular nuestro caso.

5.3. Homología y convergencia

Se asume que los mamíferos son más inteligentes que otros animales a partir de que poseen una neocorteza. Esta suposición se basa en la premisa de homología, de acuerdo con la cual hay una estructura cerebral ancestral que compartimos y que es el sustrato de capacidades cognitivas superiores como la inteligencia.

Un caso célebre que se apoya en el supuesto de un área cerebral homóloga es la teoría de las neuronas espejo (MNT, por sus siglas en inglés). La MNT postula que en los humanos el área de Broca es citoarquitectónicamente la región homóloga de la corteza ventral premotora en monos, o la famosa área F5. Se suponía que esas áreas homólogas debían corresponderse con los sustratos neuronales que promueven la imitación y la acción motora. Una especulación adicional fue que el lenguaje humano bien pudo ser un arreglo evolucionado del sistema de imitación gestual, desempeño y comprensión del sistema de neuronas espejo, que ya estaba presente en los monos (Gallese *et al.* 1996).

El supuesto de continuidad y homología entre el cerebro humano y el de los monos está propenso a fallar una vez que se advierte que los cerebros de otras especies poseen otras características que no se dan en los cerebros humanos. Es decir, aunque muchas áreas neocorticales humanas tienen su homólogo en los macacos, no todas lo tienen; algunas de estas áreas son únicas para cada especie. Por

ejemplo, áreas presentes en la corteza parietal inferior de los humanos (las áreas 39 y 40), que se cree que promueven funciones humanas particulares, no tienen un homólogo en los macacos. De manera similar, dado que los macacos no hablan, es probable que los candidatos a áreas homólogas del lenguaje humano promuevan de hecho funciones diferentes en cada especie.⁷

En contraste con la hipótesis de homología, tenemos a la evolución convergente o tesis de homoplasia. La homoplasia fue formulada como sigue: “En algunos casos, adaptaciones funcionalmente equivalentes han evolucionado de manera independiente en una o más líneas de los vertebrales” (Wilczynski 1984, p. 755). Esta idea puede resumirse asegurando que rasgos y comportamientos pueden generarse evolutivamente de manera independiente y simultánea en diferentes especies.

Por ejemplo, el comportamiento inteligente pudo surgir de manera independiente y simultánea entre los vertebrados. Un incremento de habilidades excepcionales pudo estar acompañado inextricablemente por incrementos simultáneos de tamaño del cerebro y el surgimiento de conexiones neocorticales más complejas. Esto equivale a afirmar que los cerebros pueden elaborar soluciones similares a retos biológicos-ambientales similares (Medina & Reiner 2000). Un caso interesante, mencionado por Striedter (2005, caps. 5 y 6), refiere a sorprendentes similitudes existentes entre el sistema visual del búho y la corteza visual de los mamíferos, lo cual es un buen caso de evolución independiente (convergente). En forma análoga, los pájaros y los no-mamíferos podrían haber hecho uso de diferentes estructuras cerebrales no-corticales para resolver retos ambientales similares.

Podemos citar un grupo de ejemplos que indican que las especies tienen una estructura cerebral común a pesar de tener diferentes funciones y conexiones neuronales, lo que contradice a la homología. Enseguida mencionaremos tres de ellos (elaborados por Striedter 2005, pp. 171-174).

1. Áreas homólogas en anfibios y mamíferos. Existen áreas homólogas entre estas dos especies en relación a una ubicación similar o posición relativa. Se piensa que el palio medial de los anfibios es homólogo al hipocampo mamífero. El palio lateral es probablemente homólogo a la corteza olfativa mamífera. La parte dorsal del palio (PDP) es seguramente homóloga a la neocorteza mamífera. Sin embargo, la PDP tiene otra conectividad, ya que sus insumos talámicos son multimodales, no se proyecta fuera del telencéfalo y tiene conexiones recíprocas con el bulbo olfatorio. Principalmente, el tálamo dorsal de los anfibios se proyecta más fuertemente con los palios mediales y laterales que con el palio dorsal.
2. La formación hipocampal. Todos los vertebrados y tetrápodos tienen una especie de formación hipocampal (HF, por sus siglas en inglés) que, a primera vista, puede considerarse como similar o idéntica a la mamífera. De manera interesante, la estructura de la HF varía según la especie, así que tal vez sea un caso de evolución convergente. Casos particulares de HF los encontramos en los pájaros. La HF en pájaros es peculiar por su aumento de complejidad, particularmente en relación con la densidad celular. En contraste, la HF mamífera se desvía en comparación con la de los pájaros. No obstante, las estructuras finales de la HF en ambos casos son similares con relación a la complejidad estructural y a los patrones de circuitos neuronales. Estos hallazgos apoyan la conclusión que tiene los expertos en la evolución convergente: la gran inteligencia que

⁷ Dejando de lado la afirmación de que el cerebro humano es al menos tres veces más grande que el de los chimpancés, y que el tamaño relativo del cerebro es insuficiente para explicar las habilidades cognitivas particulares de los humanos; más notorio es que la organización estructural del cerebro humano difiere radicalmente de la de los chimpancés. Algunas características particularmente inusuales de los humanos son que: proporcionalmente los cerebros tienen neocortezas más grandes (debido a la evolución en mosaico), una cantidad mayor de proyecciones neuronales que van de la neocorteza a la médula (una especie de invasión neuronal), así como un aumento desproporcionado de las cortezas prefrontales laterales; entre otras características (Preuss & Coleman 2002). Adicionalmente, entre las muchas diferencias ontogenéticas están que las células gliales de los cerebros humanos se expanden después del nacimiento, por lo que son más permeables a las demandas del ambiente y a los retos conductuales, como el aprendizaje. Por si esto no fuera suficiente, hay un abismo evolutivo entre lo que sabemos y lo que no sabemos sobre los simios humanos y los no-humanos y de sus habilidades conductuales. En general, sabemos poco todavía sobre el funcionamiento de las regiones cerebrales de otras especies.

surgió en los pájaros, en relación al desarrollo de la HF, fue independiente de la que ocurrió en los mamíferos (Striedter 2005, pp. 171-174).

3. La aparición de la neocorteza. En consonancia con el sentido común, la aparición de la neocorteza no siguió la regla de la evolución concertada (un incremento proporcional de una parte o estructura cerebral en relación proporcional al resto del tamaño corporal), ni la regla de aumento regular del tamaño cerebral. La aparición de la neocorteza de los mamíferos sólo puede explicarse con la regla de la evolución en mosaico (un crecimiento desproporcionado de una estructura cerebral independientemente del tamaño de las partes restantes). En otras palabras, la aparición de la neocorteza de los mamíferos implicó varios cambios específicos en sólo algunas áreas del cerebro, como resultado de ejercer presiones evolutivas particulares en algunas de ellas (Striedter 2005, pp. 171-174).

Como puede apreciarse en los casos anteriores, las especies aparentemente pueden tener una estructura cerebral común que se dio como resultado de diferentes reglas de evolución cerebral en dos especies. También, de manera aparente, la misma estructura cerebral bien podría correlacionarse con el desempeño de funciones diferentes en dos especies. Adicionalmente, dos áreas cerebrales aparentemente equivalentes morfológicamente bien podrían correlacionarse con el desempeño de diferentes funciones en tales especies. Incluso, dos áreas morfológicamente equivalentes podrían estar propensas a desarrollar modificaciones en los tipos de conexiones neuronales. En conjunto, estos hechos contradicen tanto la hipótesis de evolución convergente de la estructura cerebral, como el ideal de ascendencia común del supuesto de la homología.

Resumiendo lo que hemos analizado en esta sección, la neuroanatomía comparada entre especies demuestra que: (1) existen similitudes importantes, pero también diferencias significativas en los patrones de la evolución cerebral en distintas especies, particularmente en relación a la complejidad. Asimismo, (2) no existe una, sino muchas reglas diferentes que operan a lo largo de la evolución de las especies y todavía no tenemos el panorama completo de cómo evolucionaron los cerebros. Además, (3) las especies pueden tener un sustrato cerebral común que desarrolla diversas conexiones neuronales y que lleva a cabo diferentes funciones. De manera recíproca, un área cerebral aparentemente homóloga en dos especies podría ser resultado de una convergencia evolutiva, es decir, que la naturaleza haya desarrollado la misma solución (estructura cerebral) para un reto biológico y ambiental similar.

En resumen, los datos de la neuroanatomía comparada entre especies no apoyan directamente la idea de que el éxito de las neurociencias se base en: 1) comparaciones interespecíficas, 2) la continuidad interespecífica de mecanismos neurales, y, 4) un sustrato neuronal común. Tales conceptos no coinciden de facto con las prácticas de la neurociencia. Por tanto, la RM no se puede descartar con base en esas consideraciones.

Un último punto que quisiéramos invocar para desestimar el argumento de que el éxito total de las neurociencias hace imposible la RM, para en su lugar enfatizar el largo camino que todavía tenemos que recorrer para que eso sea una realidad; son los problemas del Proyecto del Cerebro Humano (Human Brain Project, en adelante HBP), y la Investigación Cerebral a través de Neurotecnologías Innovadoras y Avanzadas (*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*, en adelante BRAIN). Estos casos exhiben los logros y obstáculos que las neurociencias actualmente enfrentan, pero principalmente presenta la falta de un consenso uniforme en ellas.

6. Human Brain Project

En 2013 inició el Proyecto del Cerebro Humano (HBP), una iniciativa europea que espera invertir cerca de mil millones de euros en los próximos años con el propósito de obtener un conocimiento completo de la estructura y función cerebral a través del desarrollo y uso de herramientas computacionales, sobre todo de la informática. Como establece su página web, el HBP quiere acelerar el progreso hacia una comprensión multinivel del cerebro humano, la mejora en el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades cerebrales, así como hacia el desarrollo de tecnologías de la

información y la comunicación (TIC) inspiradas en el cerebro.⁸ Algunos de los objetivos principales del HBP son: reunir lo que sabemos sobre las células y las redes cerebrales, así como simular el funcionamiento del cerebro humano con base en programación computacional.

El equivalente norteamericano del HBP es la iniciativa del 2013 de Obama, BRAIN, Investigación cerebral a través de neurotecnologías innovadoras y avanzadas (*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*), cuyo objetivo general es obtener un conocimiento dinámico del funcionamiento cerebral por medio del uso de cualquier tecnología innovadora (esta es la iniciativa más ambiciosa desde el proyecto norteamericano del Genoma Humano). Una de las ramas más significativas del BRAIN es el Proyecto del Conectoma Humano (HCP, por sus siglas en inglés), el cual busca elucidar las rutas neuronales que subyacen al funcionamiento y comportamiento del cerebro. El objetivo principal del HCP es descifrar la conectividad del cerebro humano, mapear los circuitos del cerebro humano con base en métodos de neuroimagen como: imágenes por resonancia magnética funcional en estado en reposo (rfMRI), imágenes con tensor de difusor (ITD) por fMRI, evocación de tareas por fMRI, imágenes estructurales por resonancia magnética (MRI), magneto encefalografía (MEG), entre otros.

Aunque los dos proyectos son enormemente atractivos, por razones de espacio, sólo mencionaremos algunas sutilezas del HBP. El HBP está recopilando lo que sabemos sobre células y redes cerebrales. El proyecto planea hacer uso de una nueva generación de súper computadoras para modelar el funcionamiento cerebral. La meta original del HBP era “construir una infraestructura tecnológica de información computacional completamente nueva para la neurociencia”.⁹

Cuando todo lucía de lo más prometedor, surgió un escándalo alrededor de la iniciativa del HBP. En una carta abierta del 7 de julio de 2014,¹⁰ más de 200 científicos que colaboraban directa o indirectamente en el HBP advirtieron a la Comisión Europea sobre un cambio de paradigma en el proyecto. Los científicos expresaron una serie de preocupaciones, entre ellas, afirmaron que el HBP no está bien concebido ni implementado. Se quejaron de la eliminación de subproyectos significativos como el de Cognición, que involucraba elucidar procesos cerebrales de orden superior como el pensamiento y la toma de decisiones; facetas del HBP original. También destacaron que era prematuro hacer simulaciones por computadora a gran escala del cerebro, versus las investigaciones tradicionales a pequeña escala. Además, publicaron que originalmente el HBP planeaba a simular el cerebro, pero Zachary Mainen (Champalimaud Centre de Portugal) declaró que eso no era creíble. En el mismo sentido, Henry Markram (líder del HBP, École Polytechnique, Suiza) afirmó que no todo el cerebro puede medirse, por lo que necesitarían hacer muchas predicciones sobre él. Interesante fue que Konrad Kording (Northwestern University Chicago, también involucrado en la iniciativa BRAIN de Obama) confesó que: “El problema es que simplemente es muy pronto para invertir demasiado en los modelos computacionales del cerebro a gran escala. [...] El HBP es prematuro, no tenemos la información que se necesita, no sabemos qué necesitamos estimular y carecemos de aproximaciones computacionales alternativas para pensar el cerebro. Más aún, el HBP se enfoca en simulaciones a escala masiva que, en este momento, no son útiles”. De manera similar, Alexandre Pouget (Universidad de Ginebra) declaró más enfáticamente que: “Aunque las simulaciones son valiosas, no son suficientes para explicar cómo trabaja el cerebro”. En el mismo sentido, Henry Markram aseguró que: “Se están generando toneladas de información, pero no existe un plan para manejarla”.¹¹

Las afirmaciones anteriores nos dan una clara idea del tipo de dificultades que enfrenta el HBP. No obstante, los resultados de dichos proyectos se han asentado y mejorado. De hecho, el HBP está mejor ajustado hoy en día. En particular, se han reforzado las neurociencias cognitivas y de sistemas. Esto no excluye la gran cantidad de desacuerdos que enfrenta cualquier proyecto tan gigantesco como éste. Por

⁸ <https://www.humanbrainproject.eu>. 25 de febrero, 2016.

⁹ Véase <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/newsroom/546/496?page=1>. 1 de julio, 2014.

¹⁰ Véase <http://www.neurofuture.eu/>, <http://www.ec.europa.eu/digital-agenda/en/blog/no-single-roadmap-understanding-human-brain>. 7 de julio, 2014.

¹¹ <http://www.ec.europa.eu/digital-agenda/en/blog/no-single-roadmap-understanding-human-brain>. 7 de julio, 2014.

el contrario, escándalos similares han de surgir cuando se abordan preguntas fundamentales. Las neurociencias aún tienen caminos espinosos que se deben recorrer.

En esta sección hemos hecho un pequeño bosquejo de por qué la iniciativa del HBP aún no puede proclamar el éxito total de las neurociencias. Al contrario, dado que el cerebro humano es demasiado complejo, el éxito de las neurociencias no es consensual ni definitivo, como sostienen algunos filósofos de la neurociencia y la divulgación ingenua de la ciencia. Debido a que el éxito total de las neurociencias aún no se ha logrado, el rechazo a la MR, fundado en tal éxito, no puede sostenerse.

Los objetivos de las iniciativas del HCP y del HBP podrían simplificarse sustancialmente si se pusiera de manifiesto que sería suficiente con saber cuáles operaciones del cerebro humano son candidatas adecuadas de clases científicas. Pero, más fructífero sería cambiar las preguntas a cómo y por qué las operaciones del cerebro humano se pueden realizar de manera múltiple –con claras restricciones–, cuáles realizaciones podemos predecir, por qué algunas realizaciones se canalizan activamente en los humanos, por qué el cerebro humano puede desarrollar nuevas rutas plásticas para compensar la pérdida de funciones por lesiones. Así, los programas de investigación fundados en la RM hasta ahora no pueden descartarse.

Por último, parece haber una tensión entre el postular un desborde o una parsimonia de Clases Naturales. Si eres un esencialista, para evitar la RM, en el día a día necesitas postular una cantidad abrumadora de clases, una para casi cada nuevo fenómeno, ya que los fenómenos que obedecen a una causalidad cerradas son escasos. Irónicamente, la búsqueda ontológica de CNs pierde su espíritu simplista: descubrir las leyes de una Naturaleza construida cuidadosamente.

En contraste, si no pretendes clasificar la Naturaleza unido a un compromiso ontológico, sino simplemente describirla de manera que sea útil para la ciencia, sólo necesitas proponer muy pocas clases generales, tal vez sólo las que provienen de la física básica o ciencias similares. Si suscribes este punto de vista, estás promoviendo una cantidad parsimoniosa de causas. Irónicamente, para un instrumentalista la Naturaleza parece ser menos caótica que para un esencialista. Para éste, las categorías de la Naturaleza son abrumadoramente numerosas, apenas se pueden organizar. El estado actual de las neurociencias encaja mejor, empíricamente, con la perspectiva instrumentalista.

7. Comentarios finales

Jaegwon Kim (1992) afirmó que, si los miembros de una clase no tienen propiedades comunes causalmente relevantes, esas clases no pueden proyectarse, y que si tenían una diferente realización física, entonces representaban clases distintas, por lo que las clases independientes en estructura no contaban como clases causales. Por consiguiente, él no consideraba a éstas como clases científicas apropiadas. En un sentido similar, Shapiro (2004) declaró que los experimentos de neuroplasticidad nos demostraban que un cerebro podía estar conectado de muchas maneras para dar lugar a una misma función psicológica.

Se pueden mencionar algunos casos de operaciones cerebrales humanas que no se logran de una sola manera. Por ejemplo, después de un proceso de rehabilitación complejo, sujetos que sufrieron una extensa lesión accidental del cerebro podrían recuperar las habilidades de hablar, leer y escribir. Se esperarían algunos cambios de moderados a significativos en los patrones de actividad cerebral en estos pacientes después del accidente cerebral. ¿Podría afirmar algún neurólogo o especialista en rehabilitación que las capacidades recuperadas del habla, la lectura y la escritura constituyen diferentes o nuevos tipos de habilidades porque se realizan de otra manera (múltiple) en el cerebro? Ello sería poco plausible. La suposición inmediata es un tanto incómoda para algunos filósofos: fácilmente, los especialistas en rehabilitación y los neurocientíficos asumirían una identidad de fenómenos cerebrales, o clases científicas, alcanzados por múltiples rutas. Los viejos filósofos de la neurociencia no deberían preocuparse: múltiple no equivale a realizabilidad infinita. El hecho de que la evidencia científica muestre que gracias a la plasticidad cerebral algunos fenómenos cerebrales puedan realizarse de manera múltiple no equivale, empíricamente, a que las posibilidades sean infinitas.

Para Darwin, “la gran pregunta” con respecto al estudio de la Naturaleza era: ¿cuáles son las leyes de la vida? Como presenciamos cada vez más en biología y en las neurociencias actuales, estamos lejos de encontrar principios generales universales. No existe una sola “ley” que predominantemente se aplique a la evolución del cerebro. La neuroanatomía comparada entre especies demuestra que: (1) existen similitudes importantes pero también diferencias significativas en los patrones de la evolución cerebral en distintas especies con relación a la complejidad. Asimismo, (2) todavía no tenemos el panorama completo de cómo evolucionaron los cerebros. Además, (3) las especies pueden tener una estructura cerebral común que realiza diferentes funciones. Y, de manera recíproca, un área cerebral aparentemente homóloga en dos especies podría ser una convergencia, *i.e.*, que la naturaleza haya desarrollando la misma estructura cerebral para un reto biológico-ambiental similar.

En general, estos hechos ponen en duda (1) las comparaciones interespecíficas, (2) la continuidad de mecanismos neuronales entre especies, (4) la existencia de un sustrato neuronal común. Simplemente estos no son hechos indudables acuñados por las neurociencias, como se ha intentado mostrar. Adicionalmente, las iniciativas HBP y BRAIN no puede proclamar el éxito rotundo de las neurociencias. Al contrario, en la medida en que poco se sabe sobre cómo y qué operaciones cerebrales simular, la RM es claramente un fenómeno a modelar en tales iniciativas. Por tanto, a partir de la neuroanatomía comparada entre especies y a que el HBP está lejos de poder proclamar el éxito total de las neurociencias, podemos concluir sólidamente que la RM todavía está viva y lejos de desaparecer.

Por último, el hecho de que no tengamos certeza de cuáles son las leyes causales que subyacen a las clasificaciones no implica que nuestras clasificaciones sean abiertamente arbitrarias; tal vez sólo implique que ese fenómeno particular es realizable de maneras múltiples, es decir, que puede lograrse por diferentes, aunque no infinitas, operaciones causales. Tal es la naturaleza de fenómenos complejos, como el cerebro y el mundo biológico.

Bibliografía

- Aizawa, K. (2009), “Neuroscience and Multiple Realization: A Reply to Bechtel and Mundale”, *Synthese* 167: 493-510.
- Bechtel, W. y J. Mundale (1999), “Multiple Realizability Revisited: Linking Cognitive and Neural States”, *Philosophy of Science* 66(2): 175-207.
- Bechtel, W. (2008), *Mental Mechanisms: Philosophical Perspectives on Cognitive Neuroscience*, New York: Routledge.
- Bickle, J. (1998), *Psychoneural Reduction: The New Wave*, Cambridge: MIT Press.
- Boyd, R.N. (1990), “Realism, Approximate Truth, and Philosophical Method”, en Savage, C.W. (ed.), *Scientific Theories*, Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 355-391.
- Boyd, R.N. (1991), “Realism, Anti-Foundationalism and the Enthusiasm for Natural Kinds”, *Philosophical Studies* 61(1-2): 127-148.
- Boyd, R.N. (1999a), “Kinds, Complexity, and Multiple Realization”, *Philosophical Studies* 95(1-2): 67-98.
- Boyd, R.N. (1999b), “Homeostasis, Species, and Higher Taxa”, en Wilson, R.A. (ed.), *Species: New Interdisciplinary Essays*, Cambridge: MIT Press, pp. 141-85.
- Boyd, R.N. (2000), “Kinds as the ‘Workmanship of Men’: Realism, Constructivism, and Natural Kinds”, en Nida-Rümelin, J. (ed.), *Rationalität, Realismus, Revision: Vorträge des 3. Internationalen Kongresses der Gesellschaft für Analytische Philosophie*, Berlin: De Gruyter, pp. 52-89.
- Craver, C. (2007), *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*, Oxford: Oxford University Press.
- Ebbesson, S.O.E. (1980), “The Parcellation Theory and its Relation to Interspecific Variability in Brain Organization, Evolutionary and Ontogenetic Development, and Neuronal Plasticity”, *Cell & Tissue Research* 213(2): 179-212.
- Ereshefsky, M. y T.A.C. Reydon (2015), “Scientific Kinds”, *Philosophical Studies* 172(4): 969-986.

- Figdor, C. (2010), "Neuroscience and the Multiple Realization of Cognitive Functions", *Philosophy of Science* 77(3): 419-456.
- Fodor, J. A. (1974), "Special Sciences: Or the Disunity of Science as a Working Hypothesis", *Synthese* 28: 97-115.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. y G. Rizzolatti (1996), "Action Recognition in the Premotor Cortex", *Brain* 119: 593-609.
- Grene, M. y E. Mendelsohn (eds.) (1976), *Topics in the Philosophy of Biology*, Dordrecht: Springer.
- Hernández Chávez, P. (2016), *Modularidad cognitiva y especialización cerebral*, México: CEFPSVLT.
- Hodos W. y A.B. Butler (1997), "Evolution of Sensory Pathways in Vertebrates", *Brain, Behavior and Evolution* 50(4): 189-197.
- Kim, J. (1992), "Multiple Realization and the Metaphysics of Reduction", *Philosophy and Phenomenological Research* 52: 1-26.
- Medina L. y A. Reiner (2000), "Do Birds Possess Homologues of Mammalian Primary Visual, Somatosensory and Motor Cortices?", *Trends in Neurosciences* 23(1): 1-12.
- Nieuwenhuys, R., Donkelaar, H.J.T. y C. Nicholson (2014), *The Central Nervous System of Vertebrates*, Vol. 3, Dordrecht: Springer.
- Northcutt, R.G. (1984), "Evolution of the Vertebrate Central Nervous System: Patterns and Processes", *American Zoologist* 24(3): 701-716.
- Piccinini, G. y C. Craver (2011), "Integrating Psychology and Neuroscience: Functional Analysis as Mechanism Sketches", *Synthese* 183(3): 283-311.
- Preuss, T.M. y G.Q. Coleman (2002), "Human-Specific Organization of Primary Visual Cortex: Alternating Compartments of Dense Cat-301 and Calbindin Immunoreactivity in Layer 4A", *Cerebral Cortex* 12(7): 671-691.
- Putnam, H. (1967), "Psychological Predicates", en Capitan, W.H. y D.D. Merrill (eds.), *Art, Mind, and Religion*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, pp. 37-48.
- Shagrir, O. (1998), "Multiple Realization, Computation and the Taxonomy of Psychological States", *Synthese* 114: 445-461.
- Shapiro, L.A. (2000), "Multiple Realizations", *Journal of Philosophy* 97: 635-654.
- Shapiro, L.A. (2004), *The Mind Incarnate*, Cambridge: MIT Press.
- Sullivan, J. (2016), *Natural Kinds and Classification in Scientific Practice*, Abingdon, NY: Routledge.
- Striedter, G.F. (2005), *Principles of Brain Evolution*, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Thompson, D.W. (1959), *On Growth and Form*, Vol. I, reimpresión de 1917, Cambridge: Cambridge University Press.
- Wilczynski, W. (1984), "Central Neural Systems Subserving a Homoplasious Periphery", *American Zoologist* 24(3): 755-763.