

EXPERIMENTACIÓN, CAMBIO CONCEPTUAL Y NEUROCIENCIAS VISUALES

A. Nicolás VENTURELLI (1)

(1) *Instituto de Humanidades (UNC / CONICET), Córdoba, Argentina*
nventurelli@psyche.unc.edu.ar

RESUMEN: Se aborda el problema del cambio conceptual en las neurociencias visuales. La generación de nuevos conceptos, su estabilidad, evolución y eventual abandono han sido predominantemente estudiados en función del rol que un concepto dado puede asumir dentro de un marco teórico mayor. En particular, el rol de la experimentación en estos procesos ha sido descuidado, un punto particularmente crítico para un tipo de investigación como la neurocientífica. Por su novedad y escasa madurez teórica, el desarrollo de las neurociencias desde mediados del siglo pasado ofrece un suelo fértil para estudiar el cambio conceptual más allá de la influencia de alguna teoría dominante. Se presta especial atención sobre la interacción entre las prácticas experimentales y la generación y modificación de conceptos neurocientíficos relevantes. A modo de estudio de caso, se hace foco sobre el concepto de «campo receptivo» para mostrar cómo su principal contribución temprana fue fijar una agenda de trabajo para el campo.

Palabras clave: cambio conceptual; neurociencias visuales; prácticas experimentales; campo receptivo; filosofía de las neurociencias.

1. INTRODUCCIÓN

En el trabajo se aborda el problema del cambio conceptual en las neurociencias visuales. Si bien se trata de un campo joven, como lo es en general la investigación neurocientífica, las neurociencias de la visión constituyen uno de los sectores más maduros de las neurociencias y en este sentido tomarlas como modelo para reflexionar sobre la investigación en áreas más incipientes puede ser fructífero desde una perspectiva filosófica. Aquí exploro esta problemática haciéndome eco de algunas propuestas en filosofía de la biología (Love 2008; Brigandt 2010, 2012), evaluando su aplicabilidad para el campo de interés, y analizando luego un caso concreto en la historia de las neurociencias de la visión: el concepto de campo receptivo, en particular su tratamiento dentro de la línea experimental liderada por David Hubel y Torsten Wiesel durante los años 60, en la llamada escuela de Harvard.

A través del análisis de las principales fuentes de su evolución conceptual (a partir de Ringach 2004; Chirimuuta y Gold 2009; Spillmann 2014 y Spillmann et al. 2015), y concentrándome en el trabajo experimental llevado adelante por Hubel y Wiesel, se defiende que la principal contribución del concepto de campo receptivo fue el de apuntalar una agenda de trabajo para un campo disciplinar en auge; concentrarse sobre este particular objetivo epistémico y cómo fue cumplido por el concepto permitiría dar cuenta de los virajes que fue sufriendo posteriormente a su versión más madura, alcanzada en la escuela de Harvard. en la historia reciente de las

neurociencias visuales. Se mantiene que son esas modificaciones las que dan cuenta de cómo, durante los últimos veinte años, este concepto se ha desdibujado y ha ido perdiendo relevancia en la investigación neurocientífica. El presente ejemplifica un tipo de abordaje del cambio conceptual vinculado a las prácticas experimentales y potencialmente muy rico para el estudio de la historia reciente de las neurociencias.

2. CAMBIO CONCEPTUAL EN LA FILOSOFÍA DE LAS NEUROCIENCIAS

La problemática del cambio conceptual ha sido muy poco discutida en la filosofía de las neurociencias, que desde sus comienzos hace aproximadamente dos décadas ha gravitado sobre todo en torno del problema de la explicación científica. Un antecedente relevante es el de Sullivan (2016) quien, si bien con el trasfondo del problema de la integración explicativa, tematiza la estabilidad de los constructos teóricos en neurociencias cognitivas, destacándola como un problema epistemológico apremiante y haciendo foco sobre el modo en que se presenta en proyectos interdisciplinarios.

Ahora, el cambio conceptual ha sido abordado en la filosofía de la ciencia sobre todo desde la tradición kuhniana y a partir de una óptica centrada en la elaboración y la revisión teóricas. La generación de nuevos conceptos, su estabilidad, evolución y eventual abandono han sido predominantemente estudiados en función de la posición y el rol que un concepto dado puede asumir dentro de un marco teórico mayor. Evaluaciones críticas respecto de este tipo de acercamientos ya han sido ofrecidas. Arabatzis (2012), por ejemplo, habla en este sentido de abordajes de los conceptos orientados a la teoría, que soslayan diferentes aspectos del cambio conceptual, como la prioridad que puede tener la génesis de un concepto por sobre las teorías eventualmente asociadas o la estabilidad diacrónica y sincrónica que pueden tener algunos conceptos más allá de las teorías dominantes. En particular, el rol de la experimentación en estos procesos ha sido descuidado, un punto que es especialmente crítico para un tipo de investigación como la neurocientífica: «Por un lado, las intervenciones experimentales son a menudo cruciales para la formación, articulación y a veces el fracaso de conceptos científicos. Por otro lado, los conceptos estructuran y guían la investigación experimental» (Arabatzis 2012, 153-154).

Por su parte, la misma Sullivan (2016) defiende la necesidad de que la búsqueda experimental en las neurociencias cognitivas esté específicamente dirigida a lograr y mantener la estabilidad de los constructos teóricos que designan habilidades cognitivas. Además, por su novedad y escasa madurez teórica respecto de otros campos más establecidos, el desarrollo de las neurociencias desde mediados del siglo pasado ofrece un suelo fértil para estudiar el cambio conceptual más allá de la influencia de alguna teoría dominante, que estructure el campo, o incluso aún en ausencia de teorías.

3. OBJETIVOS EPISTÉMICOS Y AGENDAS DE TRABAJO

Las propuestas de Love (2008) y de Brigandt (2012), si bien dirigidas a las ciencias biológicas, serán consideradas para su aplicación al caso de las neurociencias visuales. Se adoptarán aquí como herramientas filosóficas para el análisis del concepto de campo receptivo (sección 4), como un caso destacado de un concepto central que ha

sufrido cambios importantes en su evolución. En particular, a partir de aquellas propuestas se destacan dos ideas principales, vinculadas entre ellas. Por un lado, Brigandt (2012) defiende la idea de que considerar los objetivos y estándares epistémicos mantenidos por los investigadores en una etapa determinada es de fundamental importancia para el estudio del cambio conceptual en ciencia. Avanza una posición en torno de los conceptos científicos por la cual estos se componen de tres elementos: su referencia, su rol inferencial y el objetivo epistémico buscado por la comunidad relevante a través de su uso. Brigandt (2010) muestra, a través de un análisis centrado en el concepto de gen, cómo el objetivo epistémico de un concepto dado permite dar cuenta de su cambio semántico, esto es, de por qué el rol inferencial y posiblemente su referencia hayan cambiado a lo largo de su historia.

Por otro lado, se destaca el concepto, propuesto por Love (2008), de una agenda de trabajo («*problem agenda*»): consiste en un conjunto de preguntas (empíricas y conceptuales, en líneas con las tradiciones de investigación laudanianas) interrelacionadas que especifican un problema complejo que necesita ser abordado y con criterios de adecuación explicativa asociados. (Me permito acotar que «explicativa» aquí es en mi opinión una noción restrictiva, ya que hay más objetivos epistémicos que también definen la búsqueda experimental.) Una agenda de trabajo es entendida a la vez como uno de los roles u objetivos epistémicos relevantes que ciertos conceptos científicos pueden tomar en casos de investigación de frontera. Algunos conceptos centrales cumplen el rol epistémico de fijar una agenda de trabajo para un campo, como así lo ilustran Brigandt y Love (2010) considerando el concepto de novedad evolutiva. En particular, en la propuesta original de Love, esto se da más en etapas tempranas de investigación multidisciplinaria, coordinada en torno de agendas de trabajo: «Generalmente revelan programas de investigación de largo alcance y requieren contribuciones de más de un abordaje disciplinario» (Love 2008, 877).

Al considerar el modo en que estas ideas operan en las neurociencias cognitivas, se prestará especial atención sobre la interacción entre las prácticas experimentales –en particular, el contraste entre el registro de células aisladas a través de microelectrodos y técnicas más recientes de neuroimagen– y la generación y modificación de conceptos neurocientíficos relevantes. A continuación, se hará foco sobre un concepto extraído de la historia de las neurociencias visuales, el concepto de campo receptivo, y al que pueden aplicarse de modo provechoso las ideas presentadas, de modo de iluminar su evolución temprana, su consolidación e incluso su reciente viraje en el mapa contemporáneo de la disciplina.

4. EL CONCEPTO DE CAMPO RECEPTIVO

A modo de estudio de caso, se hace entonces foco sobre el concepto de «campo receptivo», un concepto clave que atraviesa enteramente la historia de las neurociencias visuales. El mismo ya ha sido tomado como foco de la reflexión filosófica: cabe mencionar el estudio sobre la evolución del concepto por parte de Chirimuuta y Gold (2009) y el aporte de Peschard y van Fraassen (2014) quienes lo toman como un caso que muestra cómo los valores, bajo la forma de lo que denominan juicios de relevancia, intervienen en las prácticas de modelado. Es considerado además como un pilar de las neurociencias visuales del siglo XX, uno de

los conceptos más elaborados y teóricamente enraizados en el campo, alrededor del cual han sido otorgados diversos premios Nobel (por ejemplo, a Granit, Hartline, von Békésy, y, finalmente, Hubel y Wiesel, sobre quienes nos concentraremos aquí).

En términos generales, el campo receptivo de una neurona sensorial ha sido entendido como el conjunto de propiedades espaciales y temporales de los estímulos que activan esa neurona. Esta es una definición estándar, aún de uso corriente y que puede verse en libros de textos y manuales. En cierta medida puede entenderse como el núcleo del aspecto funcional de las neuronas sensoriales: en esta misma medida puede considerarse a la vez, como veremos, como eje de uno de los programas de investigación más exitosos en las neurociencias visuales, el programa de la llamada escuela de Harvard llevado adelante por Hubel y Wiesel, donde florece la exploración del campo receptivo, en particular sobre la retina en gatos, y donde el concepto adquiere madurez.

Antes de presentar el trabajo de Hubel y Wiesel por el cual fueron reconocidos, cabe destacar la previa descripción de la estructura básica del campo receptivo de Kuffler, quien luego los invitara a su laboratorio en el hospital Johns Hopkins y de ahí a formar el Departamento de Neurobiología en Harvard. En 1953 Kuffler describió una organización de tipo centro-alrededor (*center-surround*) en función de la responsividad de las células ganglionares a un punto luminoso u oscuro; el campo receptivo de estas células, llamadas luego unidades Kuffler, era estructurado: dos regiones antagonistas, una excitatoria y la otra inhibitoria. Esto permitió el comienzo de la clasificación de tipos de campos receptivos. Kuffler así distinguió inicialmente entre un campo receptivo *on-center* y otro, *off-center*. La relevancia de estos resultados va más allá de lo que en sí mismos contribuyeron y comprenden la expresión experimental de la idea de que a muchas neuronas puede darse una interpretación funcional.

Lo anterior muestra objetivos epistémicos ya definidos para el concepto de interés aquí: la existencia de una base heterogénea de rasgos que selectivamente activan neuronas sensoriales en la medida en que las respuestas varían sistemáticamente, de modo repetible en contextos experimentales, ante ciertos parámetros. Lo que hay en germen en el trabajo de Kuffler es la posibilidad de describir la estructura de los campos receptivos como base funcional de los sistemas sensoriales. La consolidación de este programa en una agenda de trabajo cimentada en el concepto de campo receptivo fue ya obra de la línea de investigación llevada adelante por Hubel y Wiesel durante los años 60. Estos estudios sobre la corteza visual del gato a través de registros extracelulares con microelectrodos son aquellos que finalmente los llevaron a ganar el premio Nobel de fisiología en el año 1981. A continuación, pretendo mostrar en qué sentido el concepto a mano encarnó una agenda de trabajo.

Los principales resultados extraídos por Hubel y Wiesel en sus estudios, que en su conjunto sentaron las bases para lo que fue el modelo clásico del sistema visual, son los siguientes. En primer lugar, definieron que los campos receptivos en neuronas corticales son alargados, y no circulares o concéntricos como había sido descrito en las neuronas de la retina o el núcleo geniculado lateral. Las neuronas corticales eran activadas por barras de luz en movimiento con ancho, ubicación y orientación específicas, lo cual fue muy relevante para subrayar la especificidad de los parámetros ante los que aquellas responden. De ahí en adelante, fue estudiada experimentalmente la respuesta ante más y más rasgos, como la dirección y velocidad del movimiento, el

tamaño y la disparidad binocular de los contornos del estímulo, por mencionar algunos.

En segundo lugar, sobre las bases de estos resultados, Hubel y Wiesel distinguieron entre células simples (caracterizadas por campos receptivos con regiones *on / off* segregadas) y células complejas (caracterizadas por campos receptivos con regiones *on / off* superpuestas). Una vez trazada esta distinción crucial, fueron distinguiendo diferentes tipos de células simples en base a la estructura de sus campos receptivos. En tercer lugar, definieron los campos receptivos como una clase de filtro de las neuronas sensoriales: esto es, fijos y estáticos. La idea central aquí es que una neurona se activa selectivamente ante presencia de rasgos específicos, que pueden estudiarse y describirse en contextos experimentales, independientemente de la acción de otras neuronas y de la historia previa de estimulación. Como veremos, es en este último aporte donde se plasma de modo más claro una agenda de trabajo para el campo.

Hay diversos aspectos por los que puede definirse una agenda de trabajo encarnada en el concepto de campo receptivo tal como se desprende del trabajo experimental de Hubel y Wiesel. El primer aspecto tiene que ver con que la presencia de rasgos estables para definir la estructura de los campos receptivos apuntaló el estudio sistemático de las propiedades funcionales de las neuronas sensoriales. El trabajo pionero sobre las células de la corteza visual primaria o V1 (en particular, Hubel y Wiesel 1959, 1962, 1968) estableció claramente los lineamientos de un programa reduccionista en visión, con proyección hacia todo el sistema visual: desde los fotorreceptores a través de transformaciones en la retina, el núcleo geniculado lateral y la corteza visual hacia la integración con otras funciones en áreas corticales superiores (como V2, V4 y el giro fusiforme). El resultante modelo clásico del sistema visual establecía una organización jerárquica de campos receptivos: los campos receptivos de células simples en V1 son formados a partir de la convergencia de campos receptivos de unidades Kuffler en el núcleo geniculado lateral, lo cual genera la elongación observada por Hubel y Wiesel; las células simples con la misma orientación, pero con diferente posición, a su vez forman los campos receptivos de las células complejas en V2 y V3. Concebido el campo receptivo como filtro, cada etapa analiza rasgos simples (contraste, orientación, etcétera) hasta llegar a rasgos progresivamente más complejos y abstractos.

En segundo lugar, los estudios de Hubel y Wiesel atrajeron especialistas de campos muy diversos, más allá de neurofisiología. Puede decirse que el programa reduccionista por ellos apuntalado marcó el comienzo de los programas interdisciplinarios en neurociencias (cfr., Spillmann 2014): por ejemplo, investigadores en inteligencia artificial, psicofísica, psicología cognitiva, y demás. Esto está en línea con la noción original de agenda de trabajo propuesta por Love, como uno de los objetivos epistémicos. En esta misma línea, y en tercer lugar, las preguntas específicas que componen el problema complejo estructurado en torno del concepto de campo receptivo son preguntas del tipo: ¿Cómo se componen campos receptivos complejos a partir de simples? ¿Qué principios de codificación son necesarios para esto? ¿Cuál es el rol computacional de distintas etapas en el sistema? Además, los descubrimientos iniciales de Hubel y Wiesel estructuraron una agenda en el sentido de que, como apunta Ringach (2004, 725), concentraron la primera oleada de estudios sobre células simples, posponiendo el estudio de células complejas.

Cabe también destacar el entrelazamiento entre el establecimiento de una línea de trabajo de este tipo y las técnicas y protocolos experimentales disponibles. No es un hecho menor que el mismo Hubel en el año 1957 introdujo el microelectrodo de tungsteno para los registros extracelulares. Este tipo de avances permitió, y a la vez restringió, la clase de preguntas experimentales que podían formularse, bajo objetivos epistémicos determinados. Recientemente, Yuste (2014) ata de modo general la doctrina de la neurona (y su principal aspecto funcional, el campo receptivo) a los desarrollos técnicos para el registro de la actividad en neuronas aisladas: «[E]s posible que el concepto de campo receptivo haya llevado a una subestimación de la verdadera complejidad de la función neuronal. [...] Puede ser muy restrictivo o simplista equiparar la función neuronal con el hecho de que las neuronas se activen en respuesta a un estímulo...» (Yuste 2014, 2).

Otro modo de apreciar la presencia de una agenda de trabajo en el concepto es ver su evolución hasta hoy. Si bien este es un punto que por cuestiones de espacio no puedo elaborar aquí, baste con indicar que en la medida en que, a partir de mediados de los años 80, fue progresivamente reconociéndose la flexibilidad de las propiedades funcionales de las neuronas desde la retina hasta la corteza visual, el concepto fue corriéndose hacia la periferia de la investigación (Bair 2005, Fairhall 2014, Olshausen 2014). El debilitamiento de la idea de que los campos receptivos son fijos y estáticos se dio de la mano del gradual abandono de la búsqueda de modelos unitarios de campos receptivos para tipos de neuronas específicas y de un foco creciente sobre la actividad neuronal espontánea y las influencias *top-down* desde regiones superiores.

5. CONCLUSIÓN

En el trabajo se ha mostrado cómo algunos conceptos científicos centrales encarnan una agenda de trabajo que estructura campo disciplinares, especialmente jóvenes. El concepto de campo receptivo, como concepto central detrás de los principales virajes en las neurociencias visuales del siglo XX, constituye un caso destacado de esto en las neurociencias. Se ha intentado mostrar no solo la riqueza del concepto desde una perspectiva filosófica sino especialmente como un prisma privilegiado desde donde mirar la dinámica teórica en la historia de las neurociencias visuales. En particular, se ha defendido que la principal contribución temprana del concepto de campo receptivo fue fijar una agenda de trabajo para el campo, en el sentido definido por Love y Brigandt: el trabajo de la escuela de Harvard, y dentro de ella especialmente la contribución de Hubel y Wiesel, es el ejemplo más claro y exitoso de cómo el concepto planteó una agenda en el sentido de estructurar y guiar la investigación experimental, contribuyendo además a la integración entre disciplinas o campos científicos diferentes. A la vez, puede aquí solo aventurarse que hoy la centralidad del concepto decae en la medida en que fue abandonándose la agenda de trabajo asociada, con nuevas preguntas, viabilizadas por nuevos medios experimentales.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arabatzis, Theodore (2012), «Experimentation and the meaning of scientific concepts», en Uljana Feest y Friedrich Steinle (eds.) *Scientific Concepts and Investigative Practice*. Berlín, de Gruyter, 149-166.

- Bair, Wyeth (2005), «Visual receptive field organization», *Current Opinion in Neurobiology* (15), 459-464.
- Brigandt, Ingo (2010), «The epistemic goal of a concept: Accounting for the rationality of semantic change and variation», *Synthese* (177), 19-40.
- Brigandt, Ingo (2012), «The dynamics of scientific concepts: The relevance of epistemic aims and values», en Uljana Feest y Friedrich Steinle (eds.) *Scientific Concepts and Investigative Practice*. Berlín, de Gruyter, 75-103.
- Brigandt, Ingo, Love, Alan (2010), «Evolutionary novelty and the evo-devo synthesis: Field notes», *Biology and Philosophy* (37), 93-99.
- Chirumuuta, Mazviita, Gold, Ian (2009), «The embedded neuron, the enactive field?», en John Bickle (ed.) *The Oxford Handbook of Philosophy and Neuroscience*. Oxford, Oxford University Press, 200-226.
- Fairhall, Adrienne (2014), «The receptive field is dead. Long live the receptive field?», *Current Opinion in Neurobiology* (25), ix-xii.
- Hubel, David, Wiesel, Torsten (1959), «Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex», *Journal of Physiology* (148), 574-591.
- Hubel, David, Wiesel, Torsten (1962), «Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex», *Journal of Physiology* (160), 106-154.
- Hubel, David, Wiesel, Torsten (1968), «Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex», *Journal of Physiology* (195), 215-243.
- Love, Alan (2008), «Explaining evolutionary innovations and novelties: Criteria of explanatory adequacy and epistemological prerequisites», *Philosophy of Science* (75), 874-886.
- Olshausen, Bruno (2014), «Perception as an inference problem», en Michael Gazzaniga y George Mangun (eds.) *The Cognitive Neurosciences V*. Cambridge (Ma.), The MIT Press, 295-304.
- Peschard, Isabelle, van Fraassen, Bas (2014), «Making the abstract concrete: The role of norms and values in experimental modeling», *Studies in History and Philosophy of Science* (46), 3-10.
- Ringach, Dario (2004), «Mapping receptive fields in primary visual cortex», *Journal of Physiology* (558), 717-728.
- Spillmann, Lothar (2014), «Receptive fields of visual neurons: The early years», *Perception* (43), 1145-1176.
- Spillmann, Lothar, Dresch-Langley, Birgitta, Tseng, Chia-huei (2015), «Beyond the classical receptive field: The effect of contextual stimuli», *Journal of Vision* (15), 1-23.
- Sullivan, Jaqueline (2016), «Construct stabilization and the unity of the mind-brain sciences», *Philosophy of Science* (83), 662-673.
- Yuste, Rafael (2015), «From the neuron doctrine to neural networks», *Nature Reviews Neuroscience* (16), 487-497.