

Consideraciones epistemológicas alrededor del enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas

Considerações epistemológicas sobre a abordagem dinamicista da neurociência cognitiva

Epistemological considerations on the dynamical approach in the cognitive neurosciences

Alfonso Nicolás Venturelli

Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

Resumen

En el ensayo se explora el alcance y los fundamentos subyacentes a un enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas. Se hace hincapié especialmente en dos puntos: (1) una reconstrucción histórica de una tradición neurocientífica centrada en una conceptualización dinámica del cerebro y (2) la ponderación de la medida en que las líneas de investigación dentro de la misma representan un estilo característico de trabajo, diferenciado en este sentido de otros abordajes de las dinámicas neuronales. Para esto, se atiende especialmente a los aspectos epistemológicos que abonarían la consolidación y continuidad de un abordaje específico en el campo contemporáneo de la investigación neurocientífica.

Palabras claves: enfoque dinamicista; teoría de sistemas dinámicos; filosofía de las neurociencias; neurociencias cognitivas; historia de las neurociencias.

Abstract

This essay explores the extent and foundations underlying a dynamical approach in the cognitive neurosciences. Two issues are especially stressed: (1) an historical reconstruction of a neuroscientific tradition centered on a dynamical conceptualization of the brain and (2) an evaluation of the degree to which the associated

Keywords: dynamical approach; dynamical systems theory; philosophy of neuroscience; cognitive neurosciences; history of neuroscience.

Resumo

Neste ensaio, explora-se o alcance e os fundamentos subjacentes a uma abordagem dinamicista em neurociência cognitiva, com especial ênfase em dois pontos: (1) a reconstrução histórica da tradição neurocientífica centrada em uma conceitualização dinâmica do cérebro e (2) uma ponderação da medida em que as linhas de pesquisa dentro da mesma representam um estilo distinto de trabalho, diferenciado a este respeito de outras abordagens para a dinâmica neural. Para esta finalidade, atende-se, especialmente, aos aspectos epistemológicos que contribuem para a consolidação e continuidade de uma abordagem específica no campo da pesquisa nas neurociências contemporâneas.

Palavras-chave: abordagem dinamicista; teoria dos sistemas dinâmicos; filosofia da neurociência; neurociência cognitiva; história da neurociência.

Autores de Correspondência:

A.N. Venturelli - nicolasventurelli@gmail.com

1. Introducción

Se abordan a continuación algunas cuestiones de relevancia epistemológica emergentes de la dinámica de cambio disciplinar en las ciencias cognitivas y, en particular, en el que aquí llamo enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas, a lo largo de los últimos treinta años. Para esto, hago hincapié en dos puntos tomados separadamente: (1) una reconstrucción histórica del mencionado enfoque centrada en el surgimiento de las principales ideas asociadas al mismo (apartado 2) y (2) una evaluación de la

medida en que las líneas de investigación dentro del mismo representan un abordaje característico y, de este modo, se distinguen de otros abordajes de la dinámica neuronal (apartado 3). Se atiende a ambos puntos en la dirección de justificar, a partir de consideraciones históricas, teóricas y metodológicas, una posible lectura de la historia reciente de las neurociencias cognitivas en la que pueda identificarse de modo claro una línea de trabajo, si se quiere una tradición, dinamicista¹.

2. El “cerebro dinámico” en perspectiva

2.1 Apuntes para una historia temprana del cerebro digital

Aunque las neurociencias cognitivas (Hardcastle, 2007, para una introducción filosófica) constituyen un campo establecido muy novedoso, estrechamente ligado con los recientes avances en las técnicas de neuroimagen funcional, una mirada a la historia precedente a la llamada revolución cognitiva (Gardner, 1993) de mediados del siglo XX es imprescindible para lograr alguna perspectiva epistemológica sobre el recorte histórico que quiero delinear aquí.

Por siglos, el cerebro ha sido descrito como un sistema dinámico. Algún ademán inicial en la dirección de una visión fundamentalmente dinámica del cerebro puede rastrearse hasta el siglo XVII y en particular hasta Descartes: el mismo consideraba, como es sabido, a la glándula pineal, su propuesta interface entre la mente inextensa y el cuerpo extenso, como una suerte de válvula para los espíritus animales, idea que fue rápidamente rechazada por fisiólogos italianos y holandeses de la época. Consideraciones de este tipo constituirían todavía parte de lo que podemos denominar la prehistoria del cerebro dinámico, en el sentido de que no configuran un modo de concebir el cerebro que incorpore una manera específica de estudiarlo.

Hasta comienzos del siglo XX se suceden diversas analogías para abordar el estudio del cerebro: el cerebro es concebido como una suerte de reloj, como telégrafo, conmutador telefónico, instrumento hidráulico y, finalmente, como *computadora*, y es recién aquí donde se hace palpable el comienzo de la conceptualización contemporánea del cerebro. Puede afirmarse

con certeza que en la idea de lo que podemos denominar el “cerebro digital” están los gérmenes de casi todos los abordajes teóricos vigentes en las neurociencias cognitivas, incluido el que aquí llamo enfoque dinamicista. Es por demás sabido que la computadora constituye también la gran metáfora sobre la que se asientan en general las ciencias cognitivas.

Antes de introducir la idea central del cerebro digital, asentada en alguna suerte de analogía con la computadora electrónica, es pertinente hacer mención del trabajo del biólogo teórico Nicolas Rashevsky. Además de que su trabajo perfiló una fuerte afinidad con la cibernética, a la cual me vuelco a continuación, el mismo puede considerarse pionero en la modelización matemática en neurociencias y, por extensión, un precedente lejano del movimiento conexionista en las ciencias cognitivas. Se trata de una mención obligada ya que los postulados centrales de Rashevsky fueron previos al nacimiento de la idea del cerebro digital, cuya cuna puede situarse de modo claro en la primera cibernética de los años '40.

En particular, los orígenes más explícitos de este modo de concebir el cerebro pueden situarse en torno de los simposios de la Josiah Macy Foundation, las llamadas Conferencias Macy, que tuvieron lugar en Nueva York entre 1943 y 1953 (Heims, 1991). Los diversos integrantes del Grupo Cibernético y otros investigadores allegados fueron los responsables de la generación de una suerte de caldo de cultivo de ideas que desembocaron en la ya mencionada revolución

cognitiva del 1956. Algunas de estas ideas centrales son: la idea de computación, asociada sobre todo al trabajo de Alan Turing, Alonzo Church y John von Neumann, y en su aplicación a la llamada arquitectura de von Neumann y el surgimiento de las primeras computadoras electrónicas; la idea de información, asociada a su tratamiento matemático por Claude Shannon en 1948; la idea de representación o modelo mental, cuya primera elaboración es asociada al trabajo de Kenneth Craik de 1943, *The Nature of Explanation*.

Aunque todas estas ideas fueron centrales en la edificación del abordaje reinante en las ciencias cognitivas, el desarrollo clave para el caso específico de las neurociencias cognitivas es sin lugar a dudas el modelo formal de la neurona propuesto en 1943 por Warren McCulloch, figura central de las Conferencias Macy, y Walter Pitts. En el artículo de 1943, titulado "*A logical calculus of the ideas inmanent in nervous activity*", los autores proponen un modelo simple de la neurona cuya actividad podía entenderse en término de activaciones de tipo "todo o nada" y sus interconexiones con otros dispositivos del mismo tipo. Las neuronas eran de este modo concebidas como unidades lógicas de umbral específico, capaces de expresar cualquier enunciado de la lógica proposicional.

Cabe notar dos puntos con respecto al enorme impacto que tuvo este modelo: por un lado, la neurona quedaría entronada como la unidad de análisis dominante para el estudio de las dinámicas cerebrales y, por otro lado, con base firme en el modelo de McCulloch y Pitts (1943), el sistema nervioso podía ser considerado un *sistema de dispositivos lógicos* interconectados. A estas ideas novedosas para conceptualizar el sistema nervioso se le sumaron avances técnicos como el empleo de microelectrodos (introducidos por Ling y Gerard en 1949), aplicables directamente sobre

la membrana celular de neuronas individuales, que disparó la investigación experimental centrada en la *medición de células aisladas* (un ejemplo ilustre de esta metodología es el de los premios Nobel de 1966 a David Hubel y Torsten Wiesel) sobre el suelo teórico abonado especialmente por el modelo formal de la neurona.

Puede dibujarse una suerte de radiografía de un sesgo en la investigación neurocientífica guiada por preguntas cognitivas a partir de la reconstrucción histórica precedente. Esta mirada es obviamente caricaturesca, pero nos va a ser de utilidad como trasfondo para revelar algunos lineamientos del enfoque dinamicista, luego matizables en casos puntuales de investigación.

La idea de la neurona como unidad dominante de análisis se tradujo, dentro de las incipientes neurociencias cognitivas, en un consenso respecto de que la base neurofisiológica del comportamiento y la cognición debía buscarse en el nivel de neuronas individuales. El conjunto de herramientas teóricas y experimentales disponibles auspició de este modo la búsqueda del "código neuronal" en los potenciales de acción de neuronas aisladas.

En lo que hace al esquema operativo puesto a trabajar dadas las mencionadas directivas, buena parte del trabajo se centró en un esfuerzo por obtener mediciones de las relaciones entre entradas y salidas (o relaciones *input-output*) de las neuronas en términos de potenciales de acción, bajo diferentes condiciones. Estas mediciones luego constituyen *data sets* a ser generalizados en un modelo, expresado generalmente como una ecuación diferencial que describe un operador que transforma entradas en salidas.

Armados de este pantallazo sobre la historia temprana de la investigación en las neurociencias cognitivas, pasemos ahora a revisar otra historia posible que se puede contar respecto del desarrollo de la disciplina.

2.2 Una historia de las ideas para el enfoque dinamicista

Una manera conveniente, aunque muy lejos de ser exhaustiva, de revisar rápidamente esta historia, paralela a la del cerebro digital aunque menos visible, es la de mencionar algunos grandes llamados de atención y bosquejos de abordajes neurocientíficos caracterizados por un énfasis preponderante en el carácter dinámico

del cerebro.

El primer llamado de atención claro en esta dirección puede retrotraerse hasta Alan Turing (1997) en su anticipación del que posteriormente fue denominado el "problema del marco" en inteligencia artificial (McCarthy & Hayes, 1969): Turing llamó especialmente la atención sobre

la necesidad de que el sistema nervioso fuera dotado de la velocidad y flexibilidad necesarias para la reacción instantánea ante la novedad en el medio ambiente de un agente cognitivo.

Aproximadamente en el mismo momento, el ciberneta W. Ross Ashby (1965) de modo similar propuso que los fenómenos cerebrales, así como también los comportamentales y psicológicos, debían ser estudiados en términos de sus dinámicas intrínsecas y en particular que debían ser abordados a través de *modelos de sistemas dinámicos*. En retrospectiva, y como se verá más adelante, Ashby llegó más lejos aun, al ser el primero en concebir el cerebro como un sistema que se *auto-organiza* ante circunstancias cambiantes. Pueden también mencionarse otros aportes originales como la noción de “campo de un sistema” (cfr., Ashby, 1965, pp. 37-38), incorporada a la batería conceptual de la teoría de sistemas dinámicos, a la que me dedicaré en el apartado 3.2. Aunque haya sufrido de la falta de métodos matemáticos y herramientas computacionales para implementar sus modelos, el planteamiento contundente de Ashby puede con justicia considerarse pionero en la tradición que aquí intento reconstruir.

En tercer lugar, posteriormente al apogeo de los enfoques simbólicos en las ciencias cognitivas durante los años ‘60 así como al establecimiento de la inteligencia artificial como disciplina científica, puede mencionarse la proyección explícita de Katchalsky y colaboradores en 1974. Prefiero transcribir una cita de estos autores ya que muestra claramente el reclamo de poner en el centro de la escena una caracterización dinámica del cerebro y el sistema nervioso:

“...ondas, oscilaciones, estados globales [*macrostates*] emergentes de procesos cooperativos, transiciones repentinas, formación de patrones, etcétera, parecen estar hechos a medida para asistir en la comprensión de procesos integrativos del sistema nervioso que permanecen inexplicados en la neurofisiología contemporánea” (Katchalsky et al., 1974, p. 12; mi traducción, *apud* Werner, 2007, p. 496).

Mientras los anteriores pueden considerarse ademanes hacia la consolidación de una línea

dinamicista de trabajo en las neurociencias, en lo siguiente sigo algunas pistas históricas que llevaron a la configuración positiva del enfoque dinamicista tal como lo entiendo aquí. Dentro de la larga y exitosa historia de la aplicación de ideas matemáticas y físicas para el estudio del cerebro, la propuesta del físico teórico Hermann Haken (2006, 1986) y su proyecto interdisciplinario de la sinérgica han ocupado un lugar menor. Sin embargo, es muy relevante en consonancia con la presente óptica en tanto que Haken formuló precisamente la hipótesis, cuya formulación inicial atribuí a Ashby, de que el cerebro es un sistema de formación espontánea de patrones (esto es, auto-organizado) que opera cerca de puntos de inestabilidad, lo cual le otorgaría la adaptabilidad que Turing intuyó (ver, por ejemplo, Engel, Fries & Singer, 2001).

La idea general subyacente a la sinérgica aplicada al estudio del cerebro es que la base biológica del comportamiento y la cognición no sólo está globalmente distribuida entre las redes neuronales sino que consiste en un proceso auto-organizado: los procesos y estructuras relevantes para la cognición no se le imponen al sistema desde afuera sino que son en gran medida el resultado de sus propias dinámicas internas. El proyecto interdisciplinario de la sinérgica constituye además el comienzo de la efectiva *matematización* de las ideas dinamicistas en el sentido que voy a delimitar más adelante. Pueden atribuirse a Haken la elaboración y el empleo de herramientas conceptuales (como la de parámetro de orden) capaces de definir, describir y analizar cantidades que representan la actividad de grupos neuronales ya que su número es mucho menor que el de las partes individuales del sistema bajo estudio.

Sin embargo, a pesar de la relevancia histórica dado el estado actual del campo disciplinar en las neurociencias cognitivas, son pocos los investigadores (cabe mencionar por ejemplo los casos de Scott Kelso y Gregor Schöner (Schöner & Kelso, 1988), así como el de Freeman, cuyo trabajo presentaré a continuación) que explícitamente reconocen en Haken un precursor en lo que hace al estilo de trabajo por ellos llevado adelante. Ahora, en la década del ‘80, un claro punto de inflexión, en el sentido del impacto que tuvo sobre el campo, fue el descubrimiento de Wolf Singer y Charles Gray (Gray & Singer, 1987) de actividad neuronal

oscilatoria y sincrónica inducida por estímulo en la frecuencia predominante en el rango de 40 Hz (llamado gama): en los sistemas sensoriales, la sincronización de la fase de las oscilaciones de neuronas espacialmente distribuidas en grupos que responden a características idénticas del estímulo. Este descubrimiento puede verse como una bisagra por la que, en particular, se subrayó la importancia de concentrarse en las relaciones temporales tales como la sincronización de las descargas neuronales y, en general, se disparó la exploración experimental de propiedades auto-organizativas de conjuntos de neuronas.

Finalmente, el ejemplo más claro del desarrollo del enfoque dinamicista en neurociencias es el programa en neurodinámica liderado por Walter Freeman (2005, 2000; Freeman & Holmes, 2005; Freeman & Barrie, 1994; Skarda & Freeman, 1987; Freeman & Skarda, 1985) durante ya más de cuatro décadas. Sus estudios continuados sobre principios dinámicos de los patrones ondulatorios en el cerebro lo convierten en uno de los grandes responsables de subrayar el carácter altamente dinámico del cerebro y, podría decirse, en el primer y más claro practicante dentro del enfoque

dinamicista tal como lo enmarco aquí.

La investigación de Freeman se centra en la búsqueda de patrones espacio-temporales en la actividad neuronal en escalas que van desde micrones y milisegundos hasta centímetros y segundos, generalmente a través de técnicas de medición directa de los potenciales de acción y de campo local brindadas por electroencefalogramas (EEG). Ya en 1975 insistió en la necesidad de explorar patrones ondulatorios en diferentes niveles de la organización cerebral, en contra de la hegemonía de la medición de células aisladas. Freeman fue además un pionero en la utilización del aparato matemático de la teoría de sistemas dinámicos (por ejemplo, Strogatz, 1994), por ejemplo para la caracterización de atractores, bifurcaciones y transiciones de fase en las dinámicas neuronales.

Concluyo aquí este recorrido por grandes hitos y personajes de un enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas², para pasar a considerar ciertas cuestiones de orden teórico y metodológico en dirección de circunscribir un estilo determinado en la investigación neurocientífica.

3. ¿Puede hablarse de un enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas?

Una breve anécdota dará una idea concreta del tipo de problema bajo consideración. Scott Kelso (1995, p. 27) narra sobre un intercambio entre el antropólogo y divulgador Roger Lewin y la “neurofilósofa” Patricia Churchland, donde ante la pregunta “¿Es razonable pensar en el cerebro como en un sistema dinámico complejo?”, Churchland contestó: “Es obviamente verdadero. Pero, ¿y qué? ¿Cuál es entonces tu programa

de investigación? ¿Qué tipo de investigación desarrollas?”. Hoy, podría decirse que muchos programas dinamicistas en las neurociencias cognitivas, del tipo de los brevemente presentados en el previo apartado, satisfarían este justo interrogatorio. Pretendo esbozar a continuación algunos lineamientos generales que caracterizan la línea histórica que he seguido arriba para mostrar que esto es así.

3.1 Postulados teóricos vertebradores: El “cerebro dinámico”

De acuerdo con la revisión de Pérez Velázquez (2005, p. 164), la actual conceptualización de la actividad de las redes neuronales del cerebro es altamente dinámica, más que en cualquier otro momento en la historia de las neurociencias. La tendencia a aceptar alguna noción de “cerebro dinámico”, por la que su carácter dinámico es puesto en primer plano en la investigación, está a la base del enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas: en este sentido, no es sólo una obviedad inerte, tal como así lo parece

entender Churchland en su comentario arriba, sino que guía y prefigura de modo importante las investigaciones emprendidas. Distingamos primero algunas ideas centrales.

En primer lugar, una idea central que se pone en juego dada esta visión sobre el cerebro es que la búsqueda de variables determinantes a la hora de formular y responder preguntas acerca del desempeño cognitivo de un agente se encuentra en un nivel de abordaje que va más allá del nivel de la neurona entendida como unidad básica de

transmisión de la información. Ahora, esto se traduce en particular en la búsqueda de patrones espacio-temporales a gran escala (esto es, meso- y macroscópicos) en las dinámicas neuronales como un objetivo teórico preponderante (ver, por ejemplo, Friston, 1997; Le Van Quyen, 2003; Fingelkurts & Fingelkurts, 2004; Seth, Izhikevich, Reeke & Edelman, 2006; Kelso & Tognoli, 2007)³.

Motivaciones teóricas de este tipo abren el camino, además, para la exploración de variables significativas en el sistema nervioso no cerradas a las descargas neuronales (por ejemplo, interacciones químicas y efectos del campo local así como fluctuaciones espontáneas previamente despreciadas como ruido). Puede hallarse un ejemplo de esta exploración a gran escala, ahora en el nivel de las heurísticas para la experimentación, en la preponderancia que ocupa en el programa de Freeman la técnica de medición directa de los potenciales de campo local (resultado de corrientes que fluyen en el campo extracelular debido a la actividad dendrítica sincrónica de un grupo de neuronas): el que esta actividad común tenga relevancia para entender la interacción entre áreas corticales es una asunción teórica que repercute en el trabajo experimental. Defensas de esta idea pueden por ejemplo encontrarse en Engel et al. (2001) y McIntosh (2000).

Otra idea clave que guía la investigación, de hecho ya moneda corriente en casi todas las áreas de las neurociencias (ya desde el modelo clásico del potencial de acción propuesto por Hodgkin y Huxley), es la de la alta no-linealidad presente en el cerebro en los diversos niveles posibles para su abordaje. En un sistema no lineal no rige el principio de proporcionalidad entre causas y efectos de la física clásica, por lo que el comportamiento del sistema no será expresable como la suma del comportamiento de sus partes componentes. Ahora, el punto aquí es que la importancia de esta propiedad a los ojos de muchos investigadores interesados en fenómenos cognitivos los ha llevado a echar mano de la teoría matemática de los sistemas dinámicos, a la que volveré más adelante, para el estudio de sistemas neuronales, en tanto que especialmente apta para la descripción de la evolución de sistemas complejos a lo largo del tiempo y en dirección de articular una caracterización general de la dinámica cerebral.

Una última idea central ya mencionada arriba

es la de la auto-organización de los procesos cerebrales, esto es, la idea de que un fenómeno básico que caracteriza el funcionamiento del cerebro es la formación espontánea de estructuras, patrones y comportamientos bien organizados a partir de condiciones iniciales aleatorias. Un ejemplo temprano de auto-organización es el de la inestabilidad de Rayleigh-Bénard, que puede observarse en fenómenos de convección térmica, en los que se forman tubos de convección (esto es, los patrones macroscópicos ordenados) en un líquido calentado desde abajo. Este sería así otro caso de la utilización de nociones pertenecientes a la física (teórica, en este caso) en neurociencias.

Bajo este tipo de hipótesis, y para el caso de un número de programas hoy activos, la información tiende a pensarse en el nivel de las redes corticales a gran escala⁴. A este respecto, la noción de causalidad recíproca es a veces usada (por ejemplo, Thompson & Varela, 2001, p. 421) para describir sistemas complejos en los que las características neuro-dinámicas globales constriñen las interacciones locales que primeramente las originaron – una propiedad que Haken (2006) bautizó como el principio esclavizante [*slaving principle*]. Por ejemplo, Bressler y Kelso (2001, p. 33; mi traducción) escriben: “Transmisiones re-entrantes entre las áreas corticales de una red coordinada podrían así ser particularmente importantes para definir la expresión de información local en las áreas participantes”⁵.

Estas tres ideas que vertebran lo que estuve denominando el “cerebro dinámico” constituyen en conjunto una particular concepción del cerebro en tanto que sistema complejo y, en este sentido, implican un cambio en las preguntas que el investigador se hace. Por ejemplo, una tendencia general que puede identificarse en muchas revisiones del campo (Fingelkurts & Fingelkurts, 2004; Le Van Quyen, 2003; Bressler & Kelso, 2001; Rodriguez et al., 1999) es una determinada trayectoria trazada entre diferentes niveles de estudio del cerebro: en lugar de partir del nivel microscópico y subir hasta llegar al nivel macroscópico del cerebro, se aborda directamente el nivel mesoscópico, esto es, el de la formación de patrones integrativos entre conjuntos de grupos neuronales –con excepciones ilustres, como la de Scott Kelso (por ejemplo, Kelso, 1995; Kelso & Tognoli, 2007) quien

aborda casi exclusivamente el nivel macroscópico.

Un rasgo adicional aun más característico del conjunto circunscrito de programas de investigación es cierta actitud frente a los aspectos temporales del funcionamiento del cerebro. En particular, en consonancia con la idea del “cerebro dinámico”, los estados cerebrales se caracterizan por una complejidad y transitoriedad que vuelven sus propiedades invariantes difíciles de tratar. Dado esto, se asume que el enfoque más provechoso para estudiar las dinámicas cerebrales es estudiar directamente su inestabilidad y transitoriedad: se delimita así la búsqueda en la fijación de patrones coordinativos a gran escala (por ejemplo, Engel et al., 2010; Kelso, 1995) y la variabilidad a lo largo del tiempo (incluso durante períodos extendidos).

Por otro lado, otro rasgo del tratamiento de los aspectos temporales de las dinámicas cerebrales es un foco en el tiempo continuo: de aquí que se privilegien las observaciones del EEG, el magnetoencefalograma (MEG) y los potenciales relacionados con eventos por sobre de los

estudios metabólicos⁶—por ejemplo, las imágenes por resonancia magnética funcional, caballo de batalla de buena parte de las incursiones en las neurociencias cognitivas, integran sobre un segundo o más para producir una imagen de actividad cerebral en una prueba— en tanto aquellas pueden proveer datos precisos sobre las escalas temporales de las dinámicas cerebrales.

Cabe agregar que una motivación principal para esto, que identifiqué ya en mi previa revisión histórica, es la de abordar el problema de la flexibilidad y adaptabilidad a circunstancias novedosas que el cerebro debe exhibir. Esto también implica subrayar la importancia de las constricciones temporales de las tareas desempeñadas por el agente en tiempo real y en un ambiente dinámico cambiante. Este énfasis se traduce en el tratamiento de la dependencia respecto del contexto por parte del estado interno de un agente cognitivo situado y activo (tratamiento ostensible en la investigación de muchas figuras en el campo como por ejemplo Freeman, Kelso, Singer y Grossberg).

3.2 Consideraciones metodológicas y planteo de la investigación

Las asunciones y criterios presentados arriba sólo son efectivos en el planteamiento de la investigación en tanto que son acompañados por un conjunto de herramientas, tanto teóricas como experimentales, que las viabilizan en contextos prácticos de trabajo: dicho de otro modo, para hablar de un enfoque dinamicista hace falta que el viraje en las preguntas que se plantean esté acompañado por un viraje en las herramientas puestas en uso para responderlas. A este respecto, puede afirmarse sin reparos que el sentido más claro en que puede hablarse de un enfoque dinámico con vida propia en las neurociencias cognitivas radica en la prioridad otorgada al uso de la ya mencionada teoría de sistemas dinámicos para abordar los niveles mesoscópicos, esto es, de la formación de los patrones dinámicos a gran escala, en el cerebro. Es importante por ende considerar algunos aspectos de esta incorporación en la metodología analítica de las neurociencias.

Como lo señalan los neurocientíficos Abarbanel y Rabinovich (2001, p. 423), las técnicas en dinámica no lineal han evolucionado desde una formulación abstracta—que podemos asociar aquí con el estado del arte en el contexto de las

incursiones cibernéticas del mencionado Ashby— hasta un conjunto práctico de métodos para el análisis de datos y la construcción y verificación de modelos⁷. Acordemente, estas técnicas han sido lentamente incorporadas, a partir de fines de la década del ‘70, como herramientas preponderantes en la metodología de investigación neurocientífica y, en particular, de las neurociencias cognitivas. Esto vuelve a poner en tela de juicio la opinión de Churchland frente a la pregunta de Lewin en cuanto que el desarrollo formal durante los últimos treinta años de las herramientas en dinámica no lineal ha sido tal como para permitir abordar con precisión el estudio del cerebro conceptualizado como sistema de formación de patrones coordinados: nuevamente, la idea del “cerebro dinámico” no se reduce a una mera perogrullada.

Por otra parte, hay que notar que el destacado interés en la búsqueda de patrones espacio-temporales a gran escala en la actividad neuronal, interés desarrollado en concomitancia con la visión dinámica del cerebro presentada anteriormente, ha sido el principal motor de esta incorporación de herramientas en dinámica no lineal. Así, en la medida en que el uso de herramientas

matemáticas para la construcción de modelos refleja conjuntos de asunciones y objetivos generales que subyacen a la investigación, la aplicación de la teoría de sistemas dinámicos para el estudio de las dinámicas neuronales constituye, más allá de las importantes diferencias entre los diversos programas particulares, el principal factor unificador de un enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas.

¿Cómo puede caracterizarse el tipo de abordaje que resulta de esta aplicación? En términos generales, puede caracterizarse como un abordaje geométrico de las dinámicas neuronales. El punto central es comprimir el altísimo número de grados de libertad de (cierta delimitación del) sistema bajo consideración en algunas variables que aproximen adecuadamente sus dinámicas a gran escala. Lo que resulta es una descripción geométrica en término de puntos, trayectorias, posiciones y regiones en un espacio de posibles estados de lo que se denomina el flujo del sistema. La forma de este flujo es determinada por las dinámicas intrínsecas del sistema en interacción con perturbaciones externas. La apuesta para el presente contexto es que, en virtud de su capacidad para comprimir grandes bases de datos en principios organizativos manejables, la teoría de sistemas dinámicos constituye una herramienta poderosa para describir y clasificar niveles de actividad neuronal que puedan conectarse con el desempeño cognitivo.

Parte de la riqueza de esta perspectiva cualitativa se debe a la universalidad de diversas propiedades de los sistemas dinámicos (por ej., tipos de acoplamientos entre osciladores, tipos de inestabilidades, tipos de atractores, tipos de bifurcaciones, etcétera). En este sentido, debe subrayarse la ganancia descriptiva que aporta: se estima que, para el caso de sistemas complejos para cuyas ecuaciones no pueden encontrarse soluciones analíticas (esto es, no pueden ponerse en términos de funciones algebraicas), esta suerte de abordaje geométrico brinda una economía descriptiva por la cual podemos entender aspectos del comportamiento de los sistemas sin la

4. Conclusiones

Dadas las consideraciones históricas, teóricas y metodológicas aquí presentadas, puede perfilarse la idea de un abordaje dinamicista dentro de las

necesidad de captar los detalles detrás del mismo.

Del mismo modo, el análisis, mediante la teoría de sistemas dinámicos, de *data sets* obtenidos a través de métodos experimentales y de observación implica esencialmente su redesccripción en un marco que permite nuevas inferencias y predicciones: en particular, la clasificación de posibles patrones de comportamiento de los sistemas neuronales, de la que el trabajo de Freeman es un ejemplo ilustre. A este respecto, Le Van Quyen (2003, p. 70) distingue entre: 1) maneras de conceptualizar el cambio continuo de sistemas, 2) maneras de caracterizar la estabilidad relativa de patrones de cambio y 3) maneras de concebir diferentes tipos de acoplamiento entre procesos complejos. A esto se agrega como una ventaja adicional la independencia de la descripción respecto de los diferentes niveles mesoscópicos de organización del sistema nervioso.

Más allá de este rol analítico, la aplicación de la teoría de sistemas dinámicos se extiende centralmente hasta la construcción de modelos no lineales de circuitos neuronales que encarnan las dinámicas descritas –cabe volver a remarcar aquí la relevancia del EEG y del MEG como fuentes de *data sets* para la construcción y el análisis de modelos. La aplicación de los conceptos (así como del conjunto de herramientas y métodos gráficos asociados) de la teoría matemática de sistemas dinámicos permite conceptualizar, modelar y observar los fenómenos de interés en términos de trayectorias en un espacio de estados posibles de un sistema previamente definido, y estudiar el curso de su desarrollo temporal. De este modo, uno de los roles principales de dicha teoría en las neurociencias cognitivas está en su uso para el modelado así como para el análisis de datos. La consecuente retroalimentación entre modelos y observación / experimentación, en la que los modelos pueden sugerir nuevos abordajes experimentales (que a la vez ayudarían a revisar los parámetros de los primeros) o dirigir de modos puntuales la búsqueda experimental, termina de perfilar un marco muy rico para la investigación en las neurociencias cognitivas.

neurociencias cognitivas. En particular, lo que se abona es la existencia de un viraje en las grandes metáforas que guían la investigación por parte

de un subgrupo de una gran familia de enfoques. El modo en que un abordaje de este tipo pueda consolidarse y continuarse en dirección de otras áreas de la investigación en las ciencias cognitivas es difícil de vaticinar⁸. Lo que puede aseverarse es la conformación de un emprendimiento con capacidad para brindar tanto diversidad como estabilidad al proyecto de estudiar el cerebro en términos de sus funciones cognitivas. Se trata en este sentido de uno más entre un gran número de abordajes, que sin embargo tiene afinidades marcadas con otras líneas de trabajo en áreas muy diferentes de las ciencias cognitivas (ver, por ejemplo, Beer, 2000; van Gelder & Port, 1995).

De este modo, puede verse con optimismo este viraje en la adopción de las metáforas que guían el estudio del cerebro, en particular para el caso de las neurociencias cognitivas, donde aún predominan de modo claro los abordajes fuertemente localizacionistas y atados al proyecto, cuya presentación aquí fue admitidamente caricaturesca, de la neurociencia computacional de descifrar el código neuronal en el que las operaciones cerebrales son entendidas como extracción y transmisión de información.

5. Referencias bibliográficas

Abarbanel, H. & Rabinovich, M. (2001). Neurodynamics: Nonlinear dynamics and neurobiology. *Current Opinion in Neurobiology*, 11 (4), 432-430.

Ashby, W. R. (1965). *Proyecto para un Cerebro. El Origen del Comportamiento Adaptativo*. (Sánchez, V., Trad.). Madrid: Tecnos. (Original publicado en 1952).

Beer, R. (2000). Dynamical approaches in cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (3), 91-99.

Bressler, S. & Kelso, S. (2001). Cortical coordination dynamics and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 5 (1), 26-36.

Churchland, P. S., Koch, C. & Sejnowski, T. (1990). What is computational neuroscience? In: Schwartz, E. L. (Ed.). *Computational Neuroscience* (pp. 46-55). Cambridge, Ma.: MIT Press.

Eliasmith, C. (2007). Computational neuroscience. In: Thagard, P. (Ed.). *Philosophy of Psychology and Cognitive Science. Handbook of Philosophy of*

Cuanto menos, puede celebrarse la consolidación y continuidad de un enfoque alternativo, aunque de ningún modo encontrado, que ciertamente abona a la diversidad y estabilidad del campo.

Finalmente, cabe recalcar que el sentido menos controvertido en que puede hablarse de un enfoque dinamicista en las neurociencias cognitivas radica en la prioridad en el uso de la teoría de sistemas dinámicos para abordar los niveles mesoscópicos, de la formación de patrones dinámicos a gran escala en el cerebro. Mirado desde este ángulo, un enfoque de este tipo está dirigido primordialmente a desarrollar un lenguaje teórico que favorezca la detección de regularidades en el sistema nervioso y a caracterizar principios comunes de la organización neuronal a gran escala. Ahora, a pesar de las enormes distancias a nivel operativo respecto de otras disciplinas, la idea de que una tendencia dinamicista también puede reconocerse en un campo como el de las neurociencias cognitivas podría funcionar a modo de proyección, para incentivar la detección de zonas de solapamiento potencial con otras áreas de trabajo científico-cognitivo.

Science Vol. 4 (pp. 313-338). Amsterdam: Elsevier.

Engel, A., Fries, P. & Singer, W. (2001). Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2 (10), 704-716.

Engel, A., Friston, K., Kelso, S., König, P., Kovács, I., MacDonald III, A., Miller, E., Phillips, W., Silverstein, S., Tallon-Baudry, C., Triesch, J. & Uhlhaas, P. (2010). Coordination in behavior and cognition. In: von der Malsburg, C., Phillips, W. & Singer, W. (Eds.). *Dynamic Coordination in the Brain: From Neurons to Mind* (pp. 267-299). Cambridge, Ma. / Londres: MIT Press.

Fingelkurts, A. & Fingelkurts, A. (2004). Making complexity simpler: Multivariability and metastability in the brain. *International Journal of Neuroscience*, 114 (7), 843-862.

Freeman, W. (2000). *Neurodynamics: An Exploration of Mesoscopic Brain Dynamics*. Londres: Springer-Verlag.

- Freeman, W. (2005). A field-theoretic approach to understanding scale-free neocortical Dynamics. *Biological Cybernetics*, 92 (6), 350-359.
- Freeman, W. & Barrie, J. (1994). Chaotic oscillations and the genesis of meaning in cerebral cortex. In: Mervillie, J. & Christen, Y. (Eds.). *Temporal Coding in the Brain* (pp. 13-37). Berlín: Springer-Verlag.
- Freeman, W. & Holmes, M. (2005). Metastability, instability, and state transitions in neocortex. *Neural Networks*, 18 (5-6), 497-504.
- Freeman, W. & Skarda, C. (1985). Spatial EEG patterns, nonlinear dynamics and perception: The neo-Sherringtonian view. *Brain Research Reviews*, 10 (3), 147-175.
- Friston, K. (1997). Transients, metastability, and neuronal dynamics. *Neuroimage*, 5 (2), 164-171.
- Gardner, H. (1993). *La Nueva Ciencia de la Mente: Historia de la Revolución Cognitiva* (Wolfson, L., Trad.). Barcelona: Paidós. (Original publicado en 1987).
- Globus, G. (1992). Towards a noncomputational cognitive neuroscience. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4 (4), 299-310.
- Gray, C. & Singer, W. (1987). Stimulus-specific neuronal oscillation in the cat visual cortex: A cortical functional unit. *Society for Neuroscience Abstracts*, 13, 1449.
- Grossberg, S. (1980). Biological competition: Decision rules, pattern formation, and oscillations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 77 (4), 2338-2342.
- Haken, H. (1986). Synergetics. *Geoforum*, 16 (2), 205-211.
- Haken, H. (2006). Synergetics of brain function. *International Journal of Psychophysiology*, 60 (2), 110-124.
- Hardcastle, V. (2007). The theoretical and methodological foundations of cognitive neuroscience. In: Thagard, P. (Ed.). *Handbook of the Philosophy of Science. Philosophy of Psychology and Cognitive Science* (pp. 295-311). Amsterdam: Elsevier.
- Heims, S. (1991), *Constructing a Social Science for Postwar America: The Cybernetics Group*, Cambridge, Ma.: MIT Press.
- Kelso, S. (1995). *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. Cambridge, Ma. / Londres: MIT Press.
- Kelso, S. & Tognoli, E. (2007). Toward a complementary neuroscience. In: Perlovsky, L. & Kozma, R. (Eds.). *Neurodynamics of Cognition and Consciousness* (pp. 39-59). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Le Van Quyen, M. (2003). Disentangling the dynamic core. *Biological Research*, 36 (1), 67-88.
- McCarthy, J. & Hayes, P. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In: Meltzer, B. & Michie, D. (Eds.), *Machine Intelligence vol. 4* (pp. 463-502). Edinburgo: Edinburgh University Press.
- McCulloch, W. & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5 (4), 115-133.
- McIntosh, A. (2000). Towards a network theory of cognition. *Neural Networks*, 13 (8-9), 861-870.
- Pérez Velázquez, J. L. (2005). Brain, behaviour, and mathematics. *Physica D*, 212 (3-4), 161-182.
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J.-P., Martinerie, J., Renault, B. & Varela, F., (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397 (6718), 430-433.
- Schöner, G. & Kelso, S. (1988). Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. *Science*, 239 (4847), 1513-1520.
- Seth, A., Izhikevich, E., Reeke, G. & Edelman, G. (2006). Theories and measures of consciousness: An extended framework. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (28), 10799-10804.
- Skarda, C. & Freeman, W. (1987). How brain make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 10 (2), 161-173.
- Strogatz, S. (1994). *Nonlinear Dynamics and Chaos. With Applications To Physics, Biology, Chemistry, And Engineering*. Nueva York: Addison-Wesley.
- Thompson, E. & Varela, F. (2001). Radical embodiment: Neural dynamics and consciousness.

Trends in Cognitive Sciences, 5 (10), 418-425.

Turing, A. (1997). Computing machinery and intelligence. In: Haugeland, J. (Ed.). *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence* (pp. 29-56). Cambridge, Ma.: MIT Press. (Original publicado en 1950).

Van Dijk, J., Kerkhofs, R., van Rooij, I. & Haselager, P. (2008). Can there be such a thing as embodied embedded cognitive neuroscience? *Theory and Psychology*, 18 (3), 297-316.

Van Gelder, T. & Port, R. (1995). It's about time: An overview of the dynamical approach to cognition. In: Port, R. & van Gelder, T. (Eds.). *Mind as Motion: Explorations in the dynamics of cognition* (pp. 1-43). Cambridge, MA: MIT Press.

Werner, G. (2007). Metastability, criticality, and phase transitions in brain and its models. *Biosystems*, 90 (2), 496-508.

Notas

(1) Como un antecedente, puede mencionarse el trabajo de Werner (2007), quien habla en un sentido análogo al que voy a defender aquí de un marco de los sistemas dinámicos para las neurociencias; su foco sin embargo está puesto sobre las proyecciones teóricas centrales de un número de propuestas y el modo en que entre ellas existen afinidades importantes.

(2) Queda claro que estuve sobrevolando una historia muy rica de la investigación neurocientífica. Mientras pueden mencionarse muchos investigadores que estimularon o hicieron contribuciones a una línea afín de trabajo –ejemplos prominentes son las figuras de Karl Lashley, gran protagonista en la búsqueda por localizar funciones cognitivas (que lo llevó en un segundo momento a sus ideas en torno de la acción masiva en el cerebro), Karl Pribram y su teoría del campo neuronal, Israel Rosenfield y Erol Basar, entre otros– cabe destacar especialmente el proyecto de Stephen Grossberg (ver por ejemplo Grossberg, 1980), quien, trabajando desde vertientes tempranas del conexionismo, intentó apuntalar la idea de que las funciones cognitivas pueden ser descritas mediante las dinámicas de redes neuronales artificiales.

(3) A la vez, cabe agregar, esta búsqueda contrasta notoriamente con incursiones tempranas y más especulativas como por ejemplo la de Globus (1992).

(4) Esto contrasta con el uso extensivo de la noción de representación propio de buena parte de las neurociencias contemporáneas, en las que, por caso, si una neurona dispara rápidamente cuando a un animal se le presenta algún estímulo se dice que aquella representa alguna propiedad de ese estímulo. Por ejemplo, bajo una definición estándar y temprana de la neurociencia computacional, se entiende que la explicación de las transiciones de estado “describe los estados en términos de la información transformada, representada y almacenada” (Churchland et al., 1990, p. 48; mi traducción) – aunque ver a este respecto la acepción más inclusiva de Eliasmith (2007, p. 313).

(5) Sobre este punto ver también McIntosh (2000), y en particular la idea de “contexto neuronal”.

(6) Es decir, asentados sobre la siguiente relación: a más actividad neuronal, más flujo sanguíneo (esto es, más requerimiento de oxígeno). Estos son asociados en general con la posibilidad de una localización más precisa de la actividad neuronal.

(7) En sentido estricto, la denominación de “teoría de sistemas dinámicos”, utilizada aquí en repetidas ocasiones, es una estrategia reciente para referir a una larga evolución de métodos que se fueron gradualmente elaborando para la caracterización, visualización y análisis de sistemas físicos en su dimensión temporal.

(8) A la vez que, puede afirmarse, incursiones más articuladas permanecen todavía altamente especulativas (para un ejemplo de esto ver van Dijk et al., 2008).