

El núcleo neurodinámico de la consciencia y el darwinismo neuronal

A. Ibáñez^{a,b}

EL NÚCLEO NEURODINÁMICO DE LA CONSCIENCIA Y EL DARWINISMO NEURONAL

Resumen. Introducción. En las últimas décadas, el proyecto de naturalización de la consciencia en el ámbito de las neurociencias cognitivas puede considerarse uno de los desafíos más grandes de la ciencia contemporánea. La teoría del núcleo dinámico de la consciencia de Gerald Edelman es uno de los enfoques más promisorios y controvertidos. Esta teoría se distingue por el abordaje de tópicos obviados por otras teorías neurocientíficas de la consciencia, como el caso de la explicación neurofisiológica de la experiencia subjetiva consciente (qualia). Objetivo. Realizar una revisión de la teoría del núcleo dinámico de la consciencia, presentando sus características principales, analizando las estrategias de explicación y sus avances empíricos, y elaborando algunas consideraciones críticas acerca de la posibilidad del estudio neurocientífico del qualia. Desarrollo. Se analizan los componentes de la teoría del núcleo dinámico de la consciencia, destacando sus supuestos ontológicos, restrictivos y explicativos, las propiedades de los fenómenos conscientes y sus correlatos cerebrales abordados por la teoría, sus experimentos principales y sus expansiones empíricas. También se abordan las estrategias explicativas de la teoría basadas en isomorfismos conceptuales entre las propiedades fenomenológicas y las medidas neurofisiológicas y matemáticas. Se analizan críticamente algunas limitaciones de la teoría para dar cuenta del denominado 'problema duro' de la consciencia o qualia. [REV NEUROL 2007; 45: 547-55]

Palabras clave. Consciencia. Darwinismo neuronal. Dinámica cerebral. Metaestabilidad. Qualia. Sincronía de gran escala.

INTRODUCCIÓN

Estudiar el estómago sin interesarse por su función digestiva es un contrasentido. Estudiar el cerebro, la cognición o la mente sin interesarse en la consciencia también lo es [1]. La consciencia existe y, además, resulta esencial para los seres humanos. Las neurociencias cognitivas en las últimas décadas no han permanecido ajenas a esta afirmación, dado que esta disciplina tiene un carácter unificador e intenta englobar el conocimiento sobre el sistema nervioso [2]. El estudio de la consciencia, que hace muy poco se consideraba un tema inexistente desde enfoques materialistas o, por el contrario, desligado de la explicación científica en enfoques dualistas, se ha convertido actualmente en la mayor promesa de las ciencias cognitivas. En los últimos treinta años se han publicado más de 3.000 trabajos en neurociencia, psicología, filosofía o inteligencia artificial –puede consultarse la selección bibliográfica de Metzinger (<http://www.philosophie.uni-mainz.de/metzinger/>) y de Chalmers (<http://www.consc.net/biblio/6.html#6.1>)–, y en los últimos veinte han surgido múltiples teorías neurobiológicas de la consciencia [3-19]. Dado que estas teorías se encuentran en estado de desarrollo [20], la estrategia habitual consiste en dejar suspendidos los problemas difíciles (p. ej., el *qualia*) y centrarse en los correlatos neuronales [4,21].

Sin embargo, una de las teorías más prominentes en este ámbito parece separarse del resto en lo que respecta al abordaje del *qualia*. Éste es un término filosófico que define las cualidades

subjetivas de las experiencias mentales, por ejemplo, la rojez de lo rojo o lo doloroso del dolor. Normalmente, las teorías neurobiológicas de la consciencia evitan hacerse cargo de estas propiedades subjetivas (denominadas 'el problema difícil de la consciencia') y abordar sus aspectos más empíricos y observables, como estados de alerta y correlatos de actividad consciente. Sin embargo, el darwinismo neuronal pretende hacerse cargo del *qualia*. Propuesta inicialmente como una teoría de gran escala de la actividad cerebral [22-25], evolucionó hacia una teoría de la consciencia [26-29]. Su principal exponente, Gerald Edelman, defiende una teoría asentada sobre supuestos provenientes de teorías de la complejidad y la teoría neodarwiniana. Su enfoque sostiene que la consciencia es consecuencia de un proceso de interacción entre poblaciones neuronales, que se coordinan espontánea y continuamente entre sí, con el cuerpo y con el ambiente. El principal dominio de estudio es la consciencia como *qualia* o cualidad subjetiva de la experiencia. Edelman propone entonces una teoría científica de la subjetividad, como base para entender los procesos 'elevados' de la consciencia humana.

Dada la alta relevancia del proyecto de naturalización de la consciencia desarrollado en las neurociencias cognitivas, así como de la radicalidad de la propuesta de Edelman, el presente texto tiene como objetivo revisar la teoría del núcleo dinámico de la consciencia, presentando sus características principales, analizando las estrategias de explicación y sus avances empíricos, y elaborando algunas consideraciones críticas acerca del estudio neurocientífico del *qualia*.

Aceptado tras revisión externa: 12.09.07.

^a Laboratorio de Neurociencia. Universidad Diego Portales. Santiago, Chile. ^b Universität Heidelberg. Psychiatric Department. Heidelberg, Alemania.

Correspondencia: Dr. Agustín Ibáñez. Director del Departamento de Neurociencias. Universidad Diego Portales. Vergara, 275. Santiago, Chile. Fax: (562) 676 2502. E-mail: amibanez@puc.cl

Trabajo parcialmente financiado por una beca del DAAD (Der Deutsche Akademische Austauschdienst).

English version available in www.neurologia.com

© 2007, REVISTA DE NEUROLOGÍA

COMPONENTES CENTRALES DEL DARWINISMO NEURONAL

Reentrada dinámica (dynamic reentry) en el seno del estudio de la consciencia

El núcleo central de la teoría se basa en la identificación de la consciencia con la imagen de reentrada dinámica. Este concepto se considera una condición suficiente para el estudio de la consciencia [27]. Reentrada dinámica es 'el intercambio recur-

sivo de señales paralelas del cerebro, que sirve para coordinar espaciotemporalmente las actividades de diferentes partes del mismo' [27] (p. 41). La reentrada dinámica no es sino un tipo de sistema dinámico, esto es, una representación matemática de un conjunto de variables las cuales describen la evolución temporal de un sistema. Un sistema dinámico puede representarse topológicamente mediante una gráfica espaciotemporal que define las propiedades globales de un sistema de variables. Este proceso de reentrada define una particular distribución espaciotemporal del sistema cerebral, producto de la interacción del mismo cerebro, el cuerpo y el ambiente. Según la teoría, las interacciones dinámicas reentrantes entre circuitos corticales estimulados por señales provenientes del cuerpo, el ambiente y la actividad en curso del cerebro, permiten la integración de combinaciones medidas por procesos de sincronización neuronal entre múltiples áreas distribuidas [26].

La reentrada dinámica es un sistema espaciotemporal multidimensional instanciado en las neuronas mediante integración y segregación mutua de ensambles neuronales. Integración y segregación son los atributos la metaestabilidad de la reentrada dinámica [26,30]. A diferencia de la simple coordinación, la metaestabilidad implica una conjugación entre procesos de segregación local e integración masiva. La metaestabilidad de un sistema consiste en la coordinación de dos tendencias: la tendencia de los componentes a funcionar independientemente (segregación) coexiste con la tendencia a coordinarse espontáneamente con los otros componentes (integración). Por ejemplo, el proceso de polinización puede considerarse un proceso metaestable, en el cual dos componentes independientes y segregados (la abeja y la flor) interactúan de forma metaestable en una dinámica global y cambiante que produce la polinización.

Las tareas de coordinación bimanual son otro buen ejemplo de metaestabilidad. Considérese el siguiente fenómeno. Usted puede mover sus dos manos en un plano horizontal de manera simétrica y en direcciones opuestas, produciendo una activación homóloga de los músculos de ambas manos. Inversamente, puede también mover las manos en la misma dirección, produciendo una activación antagonista de los músculos de cada mano. Al primer movimiento se le denominará 'en fase', y al segundo 'antifase'. Los movimientos en fase tienden a ser más estables que los de antifase y cuando la frecuencia de oscilación (Hz) de los movimientos se incrementa hasta cierto umbral, la actividad antifase tiende a estabilizarse en un movimiento en fase. Este es un fenómeno metaestable en el que dos componentes segregados (el movimiento de cada mano) se coordinan en un movimiento global metaestable dinámicamente integrado. Este fenómeno puede entenderse mediante una función no lineal de acoplamiento de una variable colectiva:

$$V(\phi) = -a*\cos(\phi) - b*\cos(2\phi)$$

Los movimientos en fase y antifase de las dos manos operando a una frecuencia común pueden mapearse en atractores a $\phi = 0^\circ$ (fase) y $\phi = 180^\circ$ (antifase). La dinámica del paso de un régimen desordenado a otro metaestable puede representarse con la fase relativa definida por una función V (que representa la coordinación entre los dos movimientos). Al cambiar la razón b/a , que está inversamente relacionada con la frecuencia cíclica, V puede desplazarse desde una posición biestable (en fase y antifase) a una metaestable (en fase). Mediante el ejemplo sencillo de la coordinación bimanual, la dinámica global de un sistema coor-

dinado, definido por una variable colectiva, experimenta cambios globales en los que la actividad segregada de sus componentes se coordina de forma global. Con la misma fórmula inicial pueden entenderse ciertos patrones metaestables de ensambles neuronales y muchos otros fenómenos.

Hasta aquí hemos desarrollado someramente el concepto de metaestabilidad, que es central en este texto. Volvamos ahora a la teoría de Edelman.

La afirmación general de esta teoría es que los sistemas neuronales que subyacen a la consciencia son un resultado evolutivo que permite integrar un gran número de procesos perceptivo-motores en paralelo, conjuntamente con información contextual e histórica de la memoria del organismo [27]. La coordinación espaciotemporal de los ensambles neuronales se considera una etapa tardía de selección por experiencia del sistema nervioso, y representa el proceso mediante el cual el cerebro se autoorganiza con su cuerpo, su ambiente y consigo mismo. Este proceso de coordinación topológica constituye el elemento clave en la extensión del darwinismo neuronal al estudio de la consciencia [31]. Dado que la reentrada dinámica es una propiedad general del sistema nervioso (se ha aplicado también para explicar procesos de categorización perceptual, aprendizaje y control motor [32,33]), se actualiza como núcleo dinámico (*dynamic core*) en el ámbito de la explicación de la consciencia.

Marco teórico del darwinismo neuronal

Supuestos ontológicos acerca del cerebro

El cerebro es, para Edelman, un sistema no lineal, altamente acoplado con el cuerpo y el entorno, constantemente impregnado de ruido y no autónomo (con respecto a su medio). ¿Cómo llega el cerebro a convertirse en este sistema? En 1978, Edelman sentó las bases de su teoría general, basada en tres etapas de selección y experiencia:

- *Desarrollo y selección del repertorio primario neuronal:* ello implica la neurogénesis de grupos neuronales basados en la división celular y la agrupación posterior en ensambles neuronales, los cuales, mediante cooperación y competencia, se extienden o eliminan mutuamente.
- *Repertorio secundario:* hace referencia a los cambios en conexiones sinápticas mediados por aprendizaje y experiencia. Este proceso determina el favorecimiento de ciertas vías neuronales.
- *Procesos de mapeo por reentrada de los ensambles neuronales:* posibilitan la conexión espaciotemporal a gran escala del cerebro. Estos procesos implican entonces una coordinación global de la dinámica cerebral.

El repertorio primario, el repertorio secundario y los procesos de reentrada determinarán la organización del sistema nervioso, la cual estará definida por procesos de integración y segregación, en constante interjuego de procesos locales y globales.

Supuestos ontológicos acerca de la consciencia

Desde esta teoría se asumen dos propiedades fundamentales de la consciencia. La interacción reentrante de ensambles neuronales de percepción, acción y memoria se asocia con la consciencia primaria, que refiere a la presencia multimodal de eventos motores y perceptuales. La consciencia primaria refiere a los procesos de reentrada entre áreas de percepción y sistemas de memoria, lo que permite que el animal se adapte en función de su historia previa [28]. De esta manera, la consciencia primaria

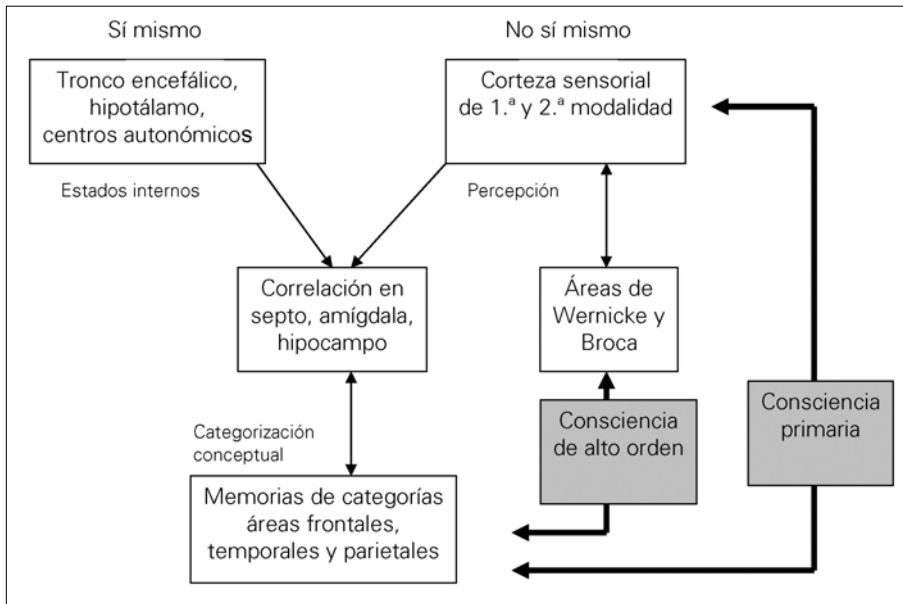


Figura 1. Las dos consciencias de Edelman. Las conexiones reentrantes entre las señales internas (sí mismo) y el mundo (no sí mismo) se correlacionan y se constituyen en memorias del organismo. Éstas son conectadas por reentradas con procesos perceptivos, que hacen emerger la consciencia primaria. La consciencia de alto orden depende de procesos posteriores de reentrada entre la memoria y procesos de categorización de lenguaje. Basado en [28].

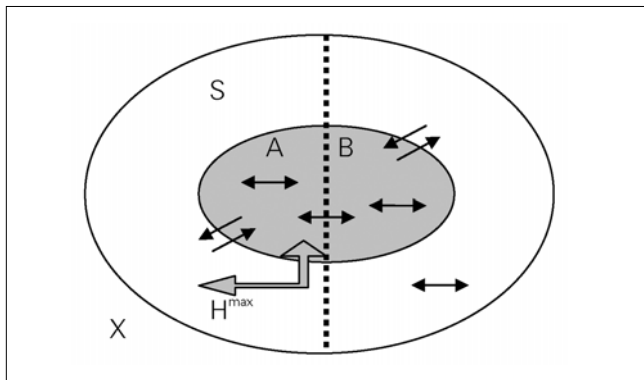


Figura 2. Información efectiva. El subconjunto S (elipse gris) forma parte de un sistema mayor X. S se separa en A y B (línea punteada). Las flechas indican conexiones entre los subconjuntos. Estando presentes todas las conexiones, la información efectiva se mide introduciendo H^{max} (máxima entropía) en las conexiones externas de A. Luego se mide la entropía de los estados de B. Nótese que A puede afectar a B directa (vía conexiones A-B) e indirectamente (vía X). Basado en [38].

implica la experiencia consciente integrada, orientada por un sentido historicoevolutivo del organismo.

La consciencia secundaria implica los planes futuros, el conocimiento semántico y la autoconsciencia. La consciencia secundaria se asienta sobre los mismos procesos de reentrada de la consciencia primaria, pero en etapas evolutivas más tardías, en las que los circuitos reentrantes conectan las sistemas de memoria con los sistemas lingüísticos y semánticos [26]. Existen entonces dos consciencias en la teoría de Edelman (Fig. 1): un proceso más básico, que consiste en la experiencia integrada de la percepción-acción y memoria, asociada con el *qualia* o la unidad de la experiencia subjetiva, y una consciencia secundaria de orden superior que se construye sobre ésta. Ambas son precisadas mediante procesos de reentrada. El fenómeno de la consciencia se conceptualiza

desde un enfoque global (*unified field approach*) [1], basado en el supuesto de estudiar la consciencia como un fenómeno unificado (una teoría opuesta a este enfoque es sostenida por Bartels et al [34]). No se trata de un modelo de atomización de fenómenos conscientes, sino de una experiencia unitaria de la consciencia como fenómeno esencial de ésta.

Supuestos restrictivos

Por supuestos restrictivos se hace referencia a los conceptos subsidiarios de la teoría de Edelman, que son medidas matemáticas basadas en la integración y segregación de la información, las cuales se utilizarán para argumentar a favor de las propiedades de la consciencia. Dado que la consciencia depende de los procesos de reentrada metaestables, la teoría define un conjunto de herramientas para caracterizar los fenómenos neuronales de integración y segregación. Dichas herramientas se basan en la teoría

de la información y en medidas de complejidad, aplicadas a la actividad cerebral [35-37].

La segregación de un área local se define matemáticamente como la independencia estadística relativa de un subconjunto (un área local) con respecto al sistema total. La integración se define como desviación de la independencia estadística relativa de grandes subconjuntos [36]. Los procesos de integración y segregación se conceptualizan en términos de información efectiva: una medida que captura todas las posibles interacciones entre subconjuntos de un sistema (Fig. 2).

La probabilidad estadística de estas funciones se define con un proceso multivariado caracterizado por entropía e información mutua [29,38]: considérese un subconjunto de k elementos (Xkj), tomados de un sistema neuronal aislado (X), y su complemento ($X - Xkj$). Interacciones entre el subconjunto y el resto del sistema introducen dependencias estadísticas entre ambos. Esto se mide por su entropía (H) e información mutua (MI): $MI(Xkj, X - Xkj) = H(Xkj) + H(X - Xkj) - H(X)$. Ello captura todas las posibilidades en las que la entropía de Xkj es explicada por la entropía de $X - Xkj$, y viceversa.

Un sistema se considerará metaestable si exhibe simultáneamente alta segregación local y alta integración global. El grado de metaestabilidad se evaluará mediante una medida denominada 'complejidad'. Un sistema será complejo si sus subconjuntos exhiben alta dependencia estadística interna y baja con respecto al exterior del subconjunto, y simultáneamente, a nivel global, la dinámica del sistema tenderá a ser altamente integrada. De esta manera, un sistema complejo será simultáneamente segregado a nivel local e integrado a nivel global. Las medidas de complejidad serán bajas en sistemas que son altamente aislados (no integración) o si están conectados masiva y homogéneamente (no segregación); por el contrario, un sistema poseerá medidas de complejidad elevadas si sus elementos están conectados densamente y de una manera específica (lo cual implicará ambas medidas de integración y segregación).

gación). La medida de complejidad será entonces una función del promedio de la información mutua entre cada subconjunto y el resto del sistema. Un sistema complejo poseerá subconjuntos heterogéneos que actúan casi independientemente a nivel local, pero formarán grandes ensambles entre sí, produciendo funciones globales de gran coherencia [26].

La aplicación de estas medidas de integración-segregación y complejidad se aplicarán luego a la consciencia mediante dos vías [28]:

- Un ensamble neuronal contribuirá directamente a la experiencia consciente si forma parte de una agrupación funcional (*functional cluster*), la cual, a través de interacciones reentrantes en el sistema talamocortical, produce un proceso de coordinación global en milisegundos.
- Para formar parte de una experiencia consciente resulta esencial que la anterior agrupación funcional sea también altamente diferenciada, observada mediante medidas de complejidad elevadas.

Supuestos explicativos

Esta teoría asume que la consciencia se concibe como una propiedad emergente de las reentradas neuronales. Si bien éstas dependen de la interacción talamocortical, la consciencia no reside en un conjunto específico de neuronas. Ésta se considera un fenómeno unitario global, no atribuible a un conjunto reducido de neuronas. Frecuentemente, el núcleo dinámico de la consciencia está cambiando su configuración neuronal [29].

La coordinación emergente de la consciencia es un tipo de causación global a local (*downward causation*). La idea de causación global a local ha experimentado un notable desarrollo en el campo de las ciencias cognitivas, mayormente con el desarrollo de enfoques dinámicos de la cognición. La causación global a local se define a partir de las propiedades globales del sistema, las cuales, siendo emergentes, son también ‘submergentes’, es decir, producen efectos causales a nivel local o de sus propiedades basales. El núcleo dinámico de la consciencia es afectado por secuencias causales del mundo, el cuerpo y otros procesos cerebrales en sí mismos, pero simultáneamente la actividad del núcleo afecta los fenómenos neuronales y acciones futuras (Fig. 3).

De acuerdo con la teoría, los sistemas neuronales que subyacen a la consciencia permiten la emergencia de discriminaciones de alto orden en un espacio multidimensional, y el *qualia* consiste en esas discriminaciones [26,27]. En otras palabras, la consciencia subjetiva se correspondería con una particular coordinación temporal entre ensambles neuronales que variaría simultáneamente con el cambio de los estados subjetivos de la consciencia. Esto es lo que convierte a la teoría del núcleo dinámico en una de las propuestas más radicales y controvertidas. Explícitamente propone una analogía entre propiedades fenomenológicas y propiedades de un sistema dinámico cerebral. La fenomenología (del griego φαίνωμαι, ‘mostrarse’ o ‘aparecer’, y λογος, ‘razón’ o ‘explicación’) refiere a las experiencias o estados subjetivos. Los estados fenomenológicos se consideran una propiedad de la consciencia porque refieren al acto subjetivo de conocimiento. El *qualia* (la sensación subjetiva de algo, por ejemplo, la rojez del rojo) es un caso de ello. La teoría de Edelman establece una condición de identidad entre la dinámi-

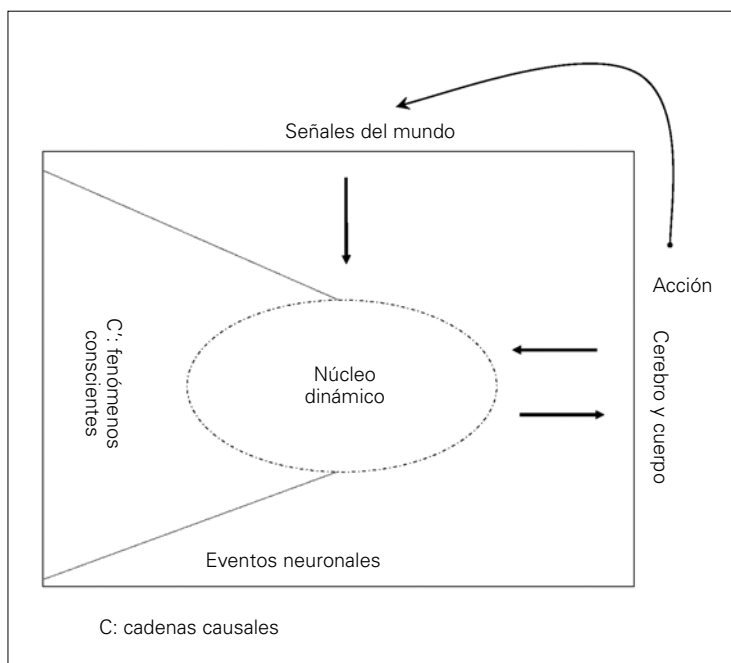


Figura 3. Circularidad causal del núcleo dinámico reentrante. Las cadenas causales entre el mundo, el cuerpo y el cerebro afectan el núcleo dinámico reentrante. La actividad consciente del núcleo (C) afecta a su vez los eventos neuronales futuros y las acciones. Los límites del núcleo están continuamente cambiando (círculo punteado). Modificado de [26].

ca espaciotemporal o topológica del sistema nervioso y el *qualia*. Se trata de una relación de identidad entre topología espaciotemporal y consciencia, como una implementación del postulado de identidad de Fechner [39]. La imagen de patrones espacio-temporales del cerebro se mapea directamente con la subjetividad del *qualia*, mediante isomorfismos entre las propiedades de integración y diferenciación simultáneas de la consciencia (como propiedades fenoménicas) y el núcleo dinámico reentrante (como medidas estadísticas). Nótese que, en la definición matemática, segregación e integración hacen referencia a ‘conectividad’, a diferencia de la segregación e integración de la consciencia, que se refiere a fenomenología: la experiencia unitaria de la consciencia y el continuo cambio de estados en ella.

Relevancia y promesa del darwinismo neuronal

¿Cómo emerge la consciencia?, ¿cuáles son sus correlatos neuronales?, ¿es posible la existencia del *qualia* en el ámbito neuronal? Éstas son las principales preguntas que esta teoría promete responder. El proyecto de naturalización de la consciencia deber leerse simultáneamente como matematización, neurobiologización y subjetivización de la consciencia. Dicho proyecto se asienta sobre la metáfora de un sistema dinámico aplicado a la actividad cerebral y a los fenómenos conscientes. A diferencia de otros proyectos de naturalización de la consciencia, esta promesa se centra en la noción de *qualia* y subjetividad como fenómeno unitario de la consciencia. En este sentido representa una promesa de naturalización de lo subjetivo en base a una teoría objetiva, pudiendo ‘medir’ (mediante las medidas de metaestabilidad) la consciencia (como *qualia* o subjetividad) en el ámbito neuronal. Por ello, la promesa central de la teoría consiste en acceder al estudio de la consciencia mediante herramientas dinámicas, brindando medidas específicas para identificar aquella actividad neuronal que ‘es’ *qualia* [26].

COMPONENTES ADICIONALES DEL DARWINISMO NEURAL

Conocimiento de dominio: apelación a la fenomenología de la consciencia y correlatos neuronales

Por conocimiento de dominio se entiende el conjunto de conocimientos acumulados de un área de investigación que constituyen factores no contemplados por los componentes centrales de una teoría, pero que redefinen las propiedades globales de ésta. Edelman asume dos propiedades de la consciencia que son relevantes para la teoría: integración y diferenciación en base a analogías con las propiedades metaestables. Para el darwinismo neuronal, la integración es una propiedad compartida por cada experiencia consciente. Cada estado consciente implica una escena singular que no puede descomponerse en partes independientes [26]. La integración puede apreciarse por la incapacidad de desempeñar múltiples tareas separadamente, salvo que dichas tareas sean automáticas y no requieran consciencia. Simultáneamente a la consideración de la consciencia como un todo integrado, se destaca la extraordinaria diferenciación o complejidad de la experiencia. El número de estados conscientes que pueden abordarse en un período breve es muy alto [38]. La percepción de un cuadrado rojo es una experiencia unificada: percibimos la rojez del rojo y la ‘cuadrtez’ del cuadrado de una sola forma, como un evento único. La experiencia del cuadrado rojo puede igualmente percibirse contra un constante cambio en cualquier otro estímulo de toda clase (auditivos, visuales, cinestésicos, olfativos, somatosensoriales).

En el campo de la neurociencia, el conocimiento de dominio que es utilizado por la teoría puede esquematizarse en tres puntos principales:

- *Se asume que la consciencia tiene un correlato de oscilaciones neuronales rápidas a baja amplitud:* desde Berger [40] se sabe que la actividad consciente habitualmente se correlaciona con la actividad oscilatoria irregular de 20-70 Hz. Numerosos estudios actuales señalan la correlación entre la actividad consciente y la actividad oscilatoria en frecuencias de 20-70 Hz [41]. De manera opuesta, diversos estados inconscientes (sueño profundo, estados vegetativos, anestesia y convulsiones epilépticas) muestran un predominio de actividad lenta (menos de 4 Hz) a alta amplitud [42].
- *Interacciones talamocorticales:* en mamíferos, la actividad consciente se asocia ampliamente a la interacción entre el tálamo y la corteza, y cuando esta interacción se interrumpe (por ejemplo, mediante lesiones), se observan diversos grados de pérdida de consciencia [43].
- *Actividad distribuida parietoprefrontomedial y temporalmente:* decenas de estudios evidencian que la actividad consciente se correlaciona con amplias zonas distribuidas del cerebro, y por el contrario, el estudio de fenómenos inconscientes evidencia la activación local de áreas cerebrales [44]. De forma subsidiaria, la actividad distribuida de la consciencia usualmente se relaciona con la coordinación global de la actividad cerebral [45,46], en especial a través de la sincronía de gran escala (aunque existe también evidencia contraria, es decir, correlatos de la actividad consciente en términos de un pequeño grupo de neuronas locales [47]). La sincronía neuronal de gran escala se ha estudiado en animales y humanos, en tareas sensomotoras y perceptivomotoras [48], discriminación visual [49-51], percepción de rostros humanos [52], rivalidad binocular [46], integración multimodal [53], aprendizaje y atención [54, 55], y memoria de

trabajo [56]. Finalmente, se ha propuesto como correlato de la consciencia [16-17,57].

Prototipo del darwinismo neuronal: el núcleo dinámico como especificación de la hipótesis de la consciencia

Ya se afirmó anteriormente que el darwinismo neuronal es una teoría general del sistema nervioso y su evolución con el cuerpo y el entorno. La noción de reentrada constituye el núcleo conceptual que permite a la teoría general del sistema nervioso convertirse en una teoría de la consciencia. Para ello, los circuitos reentrantes se conceptualizan como ‘núcleo dinámico’, un particular sistema reentrante capaz de explicar la consciencia. Éste asume las propiedades generales de los sistemas reentrantes, pero especificado de tal manera que puede dar cuenta del conocimiento de dominio acerca de la consciencia y sus correlatos cerebrales, permitiendo a la vez su medición mediante los desarrollos matemáticos presentados en los supuestos restrictivos. Tononi y Edelman [29] lo definen como una agrupación neuronal que, en un proceso a escala temporal de milisegundos, constituye una coordinación metaestable de alta complejidad (simultáneamente integrada y segregada).

El núcleo dinámico se asocia siempre con la actividad neural entre 20-70 Hz en el sistema talamocortical [26,29]. Sin embargo, la consciencia no es consecuencia de la actividad de algún área cerebral específica. Por el contrario, un estado subjetivo es determinado por todo el núcleo dinámico. Un evento consciente puede asociarse con un simple punto en un espacio multidimensional (N), donde N representa el número de grupos neuronales que forman parte del núcleo dinámico en un tiempo determinado (los autores sugieren que N puede estar formado por grupos de 10^3 a 10^7 agrupaciones). La ‘sensación consciente’ se vincula entonces a una organización dinámica del sistema topológico [31]. El ‘paisaje’ del núcleo dinámico está siempre cambiando su topología, de acuerdo con procesos de metaestabilidad. Este núcleo se considera entonces un proceso, no una cosa o una localización particular. El concepto de núcleo dinámico implica un estado macroscópico de la actividad cerebral, especificado a partir de la dinámica previa, la actividad sensorimotora y la información contextual. En este punto, el núcleo dinámico se aproxima a otras perspectivas teóricas elaboradas con diferentes desarrollos matemáticos y neurofisiológicos [58,59].

Este particular proceso reentrante, denominado núcleo dinámico, se propuso inicialmente para explicar los fenómenos de integración perceptual (*perceptual binding*), entendida como el proceso que integra conjuntamente los diferentes aspectos de un evento, como su forma, color, movimiento, etc., en una percepción con sentido [4]. Es la propiedad consciente más abordada por la neurociencia [16,25,60-62]. Inicialmente se estudiaron las propiedades metaestables (mediante mediciones de integración-segregación) de las redes neuronales que logran integrar múltiples perceptos.

Posteriormente, la hipótesis de núcleo dinámico se estudió en sujetos esquizofrénicos, en quienes se observó un descenso de las medidas de complejidad metaestables obtenidas de un registro de actividades cognitivas conscientes mediante tomografía por emisión de positrones (PET) [63]. Ello supone, según los autores, que el núcleo dinámico se encuentra reducido en pacientes con esquizofrenia, de acuerdo con el supuesto de que su actividad consciente se encuentra reducida o, al menos, alterada. También se aplicaron mediciones de metaestabilidad a áreas cerebrales no asociadas con la actividad consciente, como el ce-

rebelo. Ante la reducción en las medidas de complejidad, se asume que estas áreas no son esenciales para el núcleo dinámico.

Aplicando medidas de integración neuronal y complejidad, de forma conjunta con el análisis extensivo de datos neurológicos, los autores afirman la posibilidad de testear la hipótesis del núcleo dinámico de la consciencia [29].

Extensiones empíricas

El estudio empírico del núcleo dinámico depende en gran medida del desarrollo de métodos de medición más sofisticados que permitan medir la actividad talamocortical en humanos, así como del desarrollo de medición en distintas localizaciones cerebrales de manera simultánea [26]. El progreso de métodos matemáticos más acordes con la dinámica cerebral metaestable, particularmente métodos no lineales, es también un requisito para el avance de la teoría [30].

El uso de simulaciones computacionales [30,64-66] ha evidenciado que patrones asociados con procesos de integración poseen índices altos de complejidad con conexiones localmente densas (agrupaciones) y conexiones de gran escala que proveen integración global. Simulaciones adicionales han mostrado que dinámicas complejas de redes neuronales pueden reproducir los mismos resultados desde diferentes subparticiones de la red, lo que apoya los aspectos dinámicos del núcleo reentrante [37]. Los mismos resultados se encuentran también en redes neuronales que controlan la actividad de un agente [66].

La actividad sincrónica neuronal se ha utilizado como una medida indirecta de la actividad metaestable del núcleo dinámico (por ejemplo, en estudios de rivalidad binocular que indican incremento de la actividad sincrónica de neuronas neocorticales asociadas con el estímulo percibido [46]). Múltiples estudios de medición de la actividad sincrónica se han interpretado como medidas indirectas de la actividad metaestable del núcleo dinámico [26,27].

Si bien actualmente no es posible obtener evidencia directa en cerebros humanos acerca del núcleo dinámico, existe evidencia indirecta en estudios comparativos entre sueño y vigilia, y en lesiones del núcleo intralaminar del tálamo asociadas con pérdida de consciencia [31,67].

Nathan et al [68] compararon, mediante modelos de ecuaciones estructurales, las medidas de integración, complejidad e información efectiva en datos de PET de sujetos conscientes e inconscientes. Sus resultados mostraron que el estado de inconsciencia induce incrementos de integración masiva de la red, con disminución de las medidas de complejidad.

Finalmente, los diseños basados en el cerebro (*brain based devices*) [32,69-72] en el área de la robótica han puesto a prueba los conceptos de integración perceptual, metaestabilidad y evolución de las dinámicas neuronales. Un prototipo avanzado de estos modelos es el Darwin VIII, consistente en un robot móvil multisensorial neuralmente organizado (con una simulación cerebral de 19.556 neuronas, 18 áreas neuronales y 450.000 conexiones sinápticas, sin reglas algorítmicas de representación o manipulación de símbolos). Este diseño logra integración y ca-

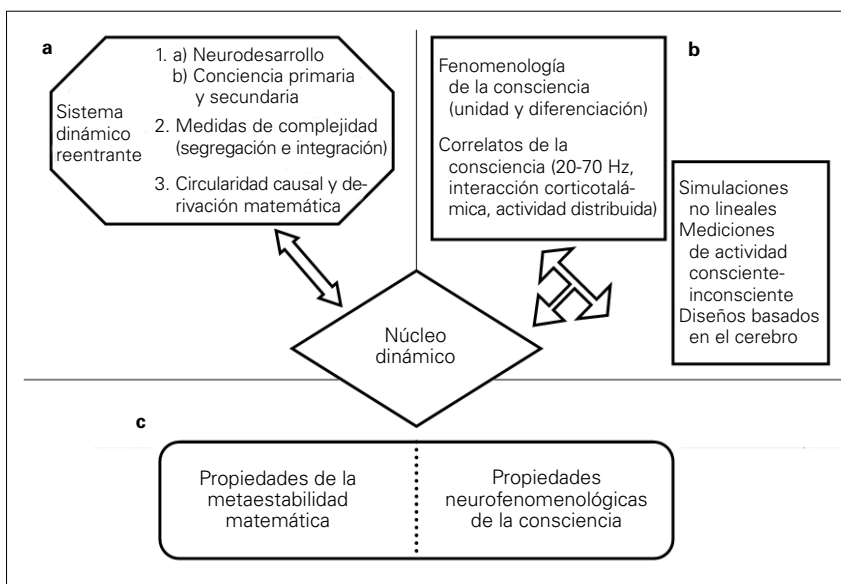


Figura 4. Componentes teóricos del darwinismo neural. a) Componentes centrales: núcleo y supuestos ontológicos (1), restrictivos (2) y explicativos (3); b) Componentes adicionales: conocimiento de dominio (cuadro superior izquierdo) y extensiones empíricas (cuadro de la derecha). El prototipo (núcleo dinámico) instancia las propiedades de los sistemas reentrantes y las características de la consciencia; c) Relaciones de isomorfismo entre herramientas explicativas (izquierda) y el fenómeno de la consciencia (derecha).

tegorización perceptual (con variaciones según la historia de aprendizaje y los eventos ocurridos) y aprendizaje por condicionamiento, ambos explicados en términos de la historia de interacción del robot con su ambiente.

DISCUSIÓN

La teoría de la naturalización de la consciencia del darwinismo neuronal se asienta sobre una relación de isomorfismo entre las propiedades de la consciencia y los componentes centrales de la teoría. La noción de reentrada dinámica como sistema topológico implica la conjugación de conceptos de diferente nivel, a saber: propiedades de la consciencia, herramientas topológicas y medidas de complejidad de la información [73]. Este núcleo central se sostiene en supuestos básicos (evolución del repertorio primario, secundario y reentrada, y la consciencia asumida como una propiedad unitaria basada en dos escalones evolutivos), metodológicos (uso de medidas de información: información efectiva, segregación, integración y complejidad) y explicativos (explicación 'emergentista' de tipo global a local y derivaciones matemáticas). La relevancia argumentativa de la teoría se basa en la explicación de la emergencia de la consciencia subjetiva y, posteriormente, de la consciencia secundaria como un proceso dinámico [74]. Mediante el prototipo del núcleo dinámico se establecen isomorfismos entre los componentes centrales (metaestabilidad y núcleo dinámico) y las propiedades subjetivas de la consciencia, al ligar las medidas de complejidad con eventos conscientes (Fig. 4).

En esta teoría, el establecimiento de isomorfismos entre las propiedades de la consciencia (neuronales y fenomenológicas) y las propiedades de las medidas matemáticas (segregación e integración simultánea) es efectuado de manera explícita por sus autores [26,29]. El desarrollo de las inferencias y derivaciones empíricas se asienta en una analogía de conceptos que comparten significados parciales, por ejemplo, la segregación matemática

como medida de información y la segregación de la experiencia consciente, referida al cambio constante y rápido de eventos subjetivos, o por el contrario, la integración de la información (como medida de la independencia relativa estadística de dos conjuntos de información), por un lado, y la integración de una experiencia subjetiva consciente que es unitaria, en el sentido de la integración perceptual, por otro. Dado que los conceptos 'integración' y 'segregación' se asumen como isomórficos en dominios matemáticos y fenoménicos, pueden usarse para testear la hipótesis de núcleo dinámico de la consciencia. Este mismo mapeo conceptual permite sostener las simulaciones computacionales de las medidas de complejidad y metaestabilidad como evidencia a favor del núcleo dinámico ya no en la simulación, sino en la actividad consciente de los organismos vivos.

Un tipo de explicación utilizada es 'emergentista' (de tipo causación global a local), ya que el núcleo dinámico implica propiedades emergentes que son consecuencia de la influencia del cuerpo, el cerebro y el entorno, y simultáneamente, el núcleo dinámico redefine las relaciones con el cuerpo, el mundo y el cerebro en sí mismo [75-77]. Igualmente, dado que el *qualia* es causado por el núcleo dinámico y existe una relación de identidad entre ambos, es posible derivar una explicación por medio de leyes matemáticas, puesto que el núcleo dinámico pasa a considerarse un fenómeno metaestable definido matemáticamente. De esta manera, el núcleo dinámico puede conceptualizarse matemáticamente gracias a su isomorfismo con los eventos conscientes.

Críticas al darwinismo neuronal aplicado a la consciencia

Hasta ahora se ha presentado la teoría del núcleo dinámico de la consciencia sin elaborar ninguna crítica, a fin de presentar sus componentes teóricos y extensiones empíricas. En este apartado se sintetizan los aspectos más críticos de dicha teoría.

En primer lugar, toda la validez de la teoría descansa en el isomorfismo conceptual de las propiedades fenomenológicas de la consciencia (integración y segregación) y las propiedades del núcleo dinámico y la metaestabilidad (integración y segregación). Si bien conceptualmente estas propiedades de integración y segregación son análogas (como 'analogías conceptuales' entre estados fenomenológicos y propiedades matemáticas), bien podría ser que, *de facto*, no lo fueran. En otras palabras, nada garantiza que la actividad consciente fenomenológica (descrita como integración y segregación de la experiencia consciente) posea necesariamente un mecanismo neuronal metaestable (que implica una conectividad funcional integrada y segregada). Integración y segregación como propiedades fenomenológicas de la consciencia no implican *ipso facto* una relación de identidad formal con propiedades matemáticas de integración y segregación metaestable. Por ello, este isomorfismo no es demostrable *a priori*, sino sólo *a posteriori*, es decir, si se encuentra evidencia causal (y no solo correlacional) de que las propiedades fenomenológicas de la consciencia son metaestables (en su sentido matemático).

En segundo lugar, cabe destacar que, en gran medida, estos estudios tienden a brindar información indirecta y de tipo correlacional (no causal) acerca de la hipótesis del núcleo dinámico. La actividad sincrónica no es necesariamente evidencia de metaestabilidad en su sentido matemático. Si bien es cierto que la actividad sincrónica de gran escala siempre indica el interjuego de áreas globales interaccionando con áreas locales, la sincronía *per se* no es una medida de metaestabilidad en su sentido matemático, sino sólo una medida de coactivación neuronal (en términos de coherencia) o fase (en términos de sincronía de fase neuronal). Las simulaciones computacionales utilizadas por Edelman constituyen solamente una versión parcial de la dinámica cerebral real y no asumen todas las restricciones de ésta. Los estudios de integración sensorial y aprendizaje de los diseños basados en el cerebro, si bien implican integración sensorial, no son casos de estudio de propiedades fenomenológicas de la consciencia. Dado que la teoría asume el estudio del *qualia*, sólo puede citar como evidencias la simulación computacional y la robótica si supone que ambas poseen actividad subjetiva. De lo contrario, solamente se estará dando información indirecta. En este mismo sentido, extraer medidas de metaestabilidad de matrices de datos obtenidos en registros neurofisiológicos no implica necesariamente que el cerebro utilice mecanismos de metaestabilidad para generar la actividad consciente.

La teoría no parece poder replicar cierta evidencia empírica que sugiere que la actividad consciente, al menos en algunas condiciones, depende de forma exclusiva de áreas locales. Igualmente, algunas propiedades atribuidas desde la teoría a la consciencia y al núcleo dinámico (p. ej., sensibilidad dinámica al contexto) no necesariamente requieren actividad consciente [78].

CONCLUSIONES

Ciertamente, la teoría del núcleo dinámico de la consciencia se aleja de las líneas más ortodoxas de naturalización de la consciencia [4,21] al afirmar que aborda el estudio del *qualia* desde la neurociencia. Por otra parte, dicha teoría se inserta dentro del marco de una teoría global de la actividad cerebral [79]. Dada la alta relevancia del proyecto de naturalización de la consciencia desarrollado en la neurociencia cognitiva, y la radicalidad de la propuesta de Edelman, este artículo ha revisado la teoría del núcleo dinámico de la consciencia, describiendo sus características principales, analizando las estrategias de explicación y sus avances empíricos, y elaborando algunas consideraciones críticas acerca del estudio neurocientífico del *qualia*. El estudio neurobiológico de la consciencia como *qualia* es un límite que pocos se atreven a superar con las herramientas científicas presentes. En la medida en que la hipótesis del núcleo dinámico aborde las dificultades inherentes presentadas en el apartado anterior, podrá sostener que ha traspasado el límite autoimpuesto por la mayoría de las teorías de naturalización de la consciencia, o bien quedará enmarcada dentro del territorio del denominado 'problema fácil' de la consciencia (*easy problem*) y sus correlatos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Searle J. Consciousness. *Annu Rev Neurosci* 2000; 23: 557-78.
2. Sánchez-Andrés JV. La neurociencia en el cambio de siglo. *Rev Neurol* 2001; 33 (Supl 1): S35.
3. Cotterill R. *Enchanted looms. Conscious networks in brains and computers*. Cambridge: Cambridge University Press; 1998.
4. Crick F, Koch C. What are the neural correlates of consciousness? In Van Hemmen L, Sejnowski T, eds. *Problems in systems neuroscience*. Oxford: Oxford University Press; 2003. p. 132-44.
5. Damasio A. *The feeling of what happens: body and emotion in the making of consciousness*. New York: Harcourt Brace; 1999.

6. Edelman GM. *Bright air, brilliant fire*. New York: Basic Books; 1992.
7. Fell J. Identifying neural correlates of consciousness: the state space approach. *Conscious Cogn* 2004; 13: 709-29.
8. Freeman W. Consciousness, intentionality, and causality. *Journal of Consciousness Studies* 1999; 6: 143-72.
9. Gazzaniga M. Brain and conscious experience. In Jasper R, Descarries S, Castellucci V, Rossignol S, eds. *Consciousness: at the frontiers of neuroscience*. New York: Lippincott-Raven; 1998. p. 23-44.
10. Gray J. The contents of consciousness: a neuropsychological conjecture. *Behav Brain Sci* 1995; 18: 659-76.
11. Greenfield S. How might the brain generate consciousness? *Communication and Cognition* 1997; 30: 285-300.
12. Hobson J. *Consciousness*. New York: W.H. Freeman; 1999.
13. Libet B. *Neurophysiology of consciousness: selected papers and new essays*. Boston: Birkhäuser; 1993.
14. Newman J. Putting the puzzle together: toward a general theory of the neural correlates of consciousness. *Journal of Consciousness Studies* 1997; 4: 47-66.
15. Osaka N. *Neural basis of consciousness*. New York: John Benjamins; 2003.
16. Singer W. Consciousness and the binding problem. *Ann N Y Acad Sci* 2001; 929: 123-46.
17. Varela F. *El fenómeno de la vida*. Santiago de Chile: Dolmen; 2000.
18. Weiskrantz L. *Consciousness lost and found*. A neuropsychological exploration. Oxford: Oxford University Press; 1997.
19. Zeki S. *A vision of the brain*. Cambridge: Blackwell Scientific; 1993.
20. Pastor-Gómez J. *Mecánica cuántica y cerebro: una revisión crítica*. *Rev Neurol* 2002; 35 (Supl 1): S87-94.
21. Koch C. *The quest for consciousness*. Englewood: Roberts; 2004.
22. Edelman GM. Group selection and phasic re-entrant signalling: a theory of higher brain function. In Mountcastle V, ed. *The mindful brain*. Cambridge, MA: MIT Press; 1978. p. 117-68.
23. Edelman GM. *Neural darwinism: the theory of neuronal group selection*. New York: Basic Books; 1987.
24. Edelman GM. *The remembered present*. New York: Basic Books; 1989.
25. Edelman GM. *Neural darwinism: selection and reentrant signaling in higher brain function*. *Neuron* 1993; 10: 115-25.
26. Edelman GM. *Naturalizing consciousness: a theoretical framework*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2003; 100: 5520-4.
27. Edelman GM. *Wider than the sky*. London: Yale University Press; 2004.
28. Edelman GM, Tononi G. *A universe of consciousness*. New York: Basic Books; 2000.
29. Tononi G, Edelman GM. Consciousness and complexity. *Science* 1998; 282: 1846-51.
30. Sporns O. Graph theory methods for the analysis of neural connectivity. In Kötter R ed, *Neuroscience databases. A practical guide*. Boston: Kluwer; 2002. p. 171-86.
31. Seth A, Baars B. *Neural darwinism and consciousness*. *Conscious Cogn* 2005; 14: 140-68.
32. Seth A, McKinstry J, Edelman GM, Krichmar L. Visual binding through reentrant connectivity and dynamic synchronization in a brain-based device. *Cereb Cortex* 2004; 14: 1185-99.
33. Tononi G, Sporns O, Edelman GM. Reentry and the problem of integrating multiple cortical areas: simulation of dynamic integration in the visual system. *Cereb Cortex* 1992; 2: 310-35.
34. Bartels R, Zeki S. The theory of multi-stage integration in the visual brain. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1998; 265: 2327-32.
35. Tononi G, McIntosh A, Russell D, Edelman GM. Functional clustering: identifying strongly interactive brain regions in neuroimaging data. *Neuroimage* 1998; 7: 133-49.
36. Tononi G, Sporns O, Edelman GM. A measure for brain complexity: relating functional segregation and integration in the nervous system. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1994; 91: 5033-7.
37. Tononi G, Sporns O, Edelman GM. Measures of degeneracy and redundancy in biological networks. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1999; 96: 3257-62.
38. Tononi G, Sporns O. Measuring information integration. *Neuroscience* 2003; 4: 31-8.
39. Fechner G. *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf und Härtel; 1860.
40. Berger H. Ueber das Elektroenkephalogramm des Menschen. *Arch Psychiatr Nervenkr* 1929; 87: 527-70.
41. Seth A, Baars J, Edelman G. Criteria for consciousness in humans and other mammals. *Conscious Cogn* 2005; 14: 119-39.
42. Baars B, Ramsoy T, Laureys S. Brain, conscious experience, and the observing self. *Trends Neurosci* 2003; 26: 671-5.
43. Baars B, Banks W, Newman J. *Essential sources in the scientific study of consciousness*. Cambridge, MA: MIT Press; 2003.
44. Dehaene S, Naccache L, Cohen L, Bihan D, Mangin J, Poline B, et al. Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nat Neurosci* 2001; 4: 752-8.
45. Cosmelli D, David O, Lachaux J, Martinerie J, Garnero L, Renault B, et al. Waves of consciousness: ongoing cortical patterns during binocular rivalry. *Neuroimage* 2004; 87: 191-9.
46. Srinivasan R, Russell D, Edelman GM, Tononi G. Increased synchronization of magnetic responses during conscious perception. *J Neurosci* 1999; 19: 5435-48.
47. Quian-Quiroga R, Kreiman L, Koch G, Fried I. Invariant visual representation by single neurons in the human brain. *Nature* 2003; 435: 1102-7.
48. Bressler S. Understanding cognition through large-scale cortical networks. *Current Directions in Psychological Science* 2002; 2: 58-61.
49. Von Stein A, Sarnthein J. Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *Int J Psychophysiol* 2001; 38: 301-13.
50. Frank D, Beek P. A mean field approach to self-organization in spatially extended perception-action and psychological systems. In Tschacher W, Dauwalder J, eds. *The dynamical systems approach to cognition*. Singapore: World Scientific; 2003. p. 159-79.
51. Von Stein A, Chiang C, Konig P. Top-down processing mediated by interareal synchronization. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000; 97: 14748-53.
52. Rodríguez E, George N, Lachaux J, Martinerie J, Renault B, Varela F. Perception's shadow: long-distance synchronization of human activity. *Nature* 1999; 397: 430-3.
53. Von Stein A, Rappelsberger P, Sarnthein J, Petsche H. Synchronization between temporal and parietal cortex during multimodal object processing in man. *Cereb Cortex* 1999; 9: 137-50.
54. Miltner W, Braun C, Arnold M, White H, Taub E. Coherence of gamma band EEG activity as a basis for associative learning. *Nature* 1999; 397: 434-6.
55. Gross J, Schmitz F, Schnitzler I, Kessler K, Shapiro K, Hommel B, et al. Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2004; 101: 13050-5.
56. Sarnthein J, Petsche H, Rappelsberger P, Shaw G, Von Stein A. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1999; 95: 7092-6.
57. Lutz A, Lachaux J, Martinerie J, Varela F. Guiding the study of brain dynamics by using first-person data: synchrony patterns correlate with ongoing conscious states during a simple visual task. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2002; 99: 1586-91.
58. Freeman W. *Neurodynamic models of brain in psychiatry*. *Neuropsychopharmacology* 2003; 28: 554-63.
59. John E. A field theory of consciousness. *Conscious Cogn* 2001; 10: 184-213.
60. Crick F. Function of the thalamic reticular complex: the searchlight hypothesis. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1984; 81: 4586-90.
61. Singer W, Gray C. Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Ann Rev Neurosci* 1995; 18: 555-86.
62. Tononi G, Edelman GM, Sporns O. Complexity and coherency: integrating information in the brain. *Trends Cogn Sci* 1998; 2: 474-84.
63. Tononi G, Sporns O, Edelman GM. A complexity measure for selective matching of signals by the brain. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1996; 93: 3422-7.
64. Sporns O, Tononi G, Edelman GM. Theoretical neuroanatomy: relating anatomical and functional connectivity in graphs and cortical connection matrices. *Cereb Cortex* 2000; 10: 127-41.
65. Sporns O, Tononi G. Classes of network connectivity and dynamics. *Complexity* 2002; 7: 28-38.
66. Seth A, Edelman GM. Environment and behavior influence the complexity of evolved neural networks. *Adaptive Behavior* 2004; 12: 5-20.
67. Kinney H, Korein J, Panigrahy A, Dikkes P, Goode R. Neuropathological findings in the brain of Karen Quinlan. The role of the thalamus in the persistent vegetative state. *N Engl J Med* 1994; 330: 1469-75.
68. Nathan S, White B, Alkire M. Network activity changes during general anaesthesia provide support for neurobiological theories of conscious awareness. *Anaesthesiology* 2000; 96: 84-96.
69. Krichmar J, Edelman GM. Machine psychology: autonomous behavior, perceptual categorization and conditioning in a brain-based device. *Cereb Cortex* 2000; 12: 818-30.
70. Seth A, Mckinstry J, Edelman GM, Krichmar J. Active sensing of visual and tactile stimuli by brain-based devices. *International Journal of Robotics and Automation* 2004; 19: 222-38.
71. Fleischer JG, Gally JA, Edelman GM, Krichmar JL. Retrospective and prospective responses arising in a modeled hippocampus during maze navigation by a brain-based device. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2007; 104: 3556-61.
72. Seth AK, Edelman GM. Distinguishing causal interactions in neural populations. *Neural Comput* 2007; 19: 910-33.

73. Seth AK, Izhikevich E, Reeke GN, Edelman GM. Theories and measures of consciousness: an extended framework. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2006; 103: 10799-804.
74. Cleeremans A, Sarrazin JC. Time, action, and consciousness. *Hum Mov Sci* 2007; 26: 180-202.
75. Ibáñez A. Complexity and cognition: a meta-theoretical analysis of the mind and brain as a topological dynamical system. *Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci* 2007; 11: 51-90.
76. Ibáñez A. Dynamics and cognition. Santiago de Chile: J.C. Sáez; 2007 [in press].
77. Cosmelli D, Ibáñez A. Moving beyond computational cognitivism: understanding intentionality, intersubjectivity and ecology of mind. *Integr Psychol Behav Sci*; 2007 [in press].
78. Ibáñez A, López V, Cornejo C. ERPs and contextual semantic discrimination: degrees of congruence in wakefulness and sleep. *Brain Lang* 2006; 98: 264-75.
79. Werner G. Related perspectives on the neuroscience of cognition and consciousness. *Biosystems* 2007; 87: 82-95.

THE NEURODYNAMIC CORE OF CONSCIOUSNESS AND NEURAL DARWINISM

Summary. Introduction. *In the last decades, the scientific study of consciousness in the scope of the cognitive neurosciences can be considered one of the greatest challenges of contemporary science. The Gerald Edelman theory of consciousness is one of the most promissory and controversial perspectives. This theory stands out by its approach to topics usually rejected by other neurophysiologic theories of the consciousness, as the case of the neurophysiologic explanation of qualia.* Aim. *The goal of this paper is to revise the dynamic core theory of consciousness, presenting the main features of the theory, analyzing the explanation strategies, their empirical extensions, and elaborating some critic considerations about the possibility of the neuroscientific study of qualia.* Development. *The central and additional theoretical components are analyzed, emphasizing its ontological, restrictive and explanatory assumptions. The properties of the conscious phenomena and its cerebral correlates as advanced by the theory are described, and finally its experiments and empirical extensions are examined. The explanatory strategies of the theory are analyzed, based on conceptual isomorphism between the phenomenological properties and the neurophysiological and mathematical measures. Some criticisms could be raised about the limitations of the dynamic core theory, especially regarding its account of the so-called 'hard problem' of consciousness or qualia. [REV NEUROL 2007; 45: 547-55]*

Key words. *Brain dynamics. Consciousness. Large-scale neural synchrony. Metastability. Neural darwinism. Qualia.*