ISSN 0185-3325

salud mental

Volumen 29 Número 2 Marzo-Abril de 2006

La ordenación piramidal del cerebro y el enjambre de la conciencia. Primera parte

José Luis Díaz

INSTITUTO NACIONAL DE PSIQUIATRIA RAMON DE LA FUENTE

(Artículo publicado en Salud Mental, Vol. 29, Número 2, Marzo-Abril de 2006, pp 7-12)

La ordenación piramidal del cerebro y el enjambre de la conciencia. Primera parte*

José Luis Díaz**

... y a mi alrededor volaba,
en el agua y en la brisa
un enjambre doble
de mariposas amarillas

Juan Ramón Jiménez

Summary

The present paper offers a particular emergence, dual aspect, and dynamic system theory of the neural correlate of consciousness. The theory is grounded on two successive hypotheses supported by empirical evidences and concepts from the neurosciences, approximations to the sciences of complexity, and philosophical arguments. The first hypothesis is that consciousness emerges along with the highest level of brain function, i.e., at the intermodular domain of the whole organ. This hypothesis is upheld by two necessary requisites. The first is the generalized impression in neurosciences of the brain as an information-handling device, and that this property enables every mental activity, including consciousness. This concept is verified on several empirical grounds. If we take the synapse as a binary code of information, the computation capacity of the brain is in the order of the 100 million megabits. Even such an enormous figure is limited and misleading because the synapse manifests not only two, but three possible informational states (excitation, rest, and inhibition), because there are subliminal potentials, and also a compact intracellular information machinery. Moreover, the informational requirement of consciousness is accurately delivered by Kuffler and Nichols' five ruling principles of brain function: 1. The brain uses electrical signals to process information; 2. such electrical signals are identical in all neurons; 3. the signals constitute codes of codification and representation; 4. the origin and destiny of the fibers determines the content of information; 5. the meaning of the signals lies in the interactions. Even though the reference to *representation*, *content*, and *meaning* implies higher cognitive properties, it seems necessary to add a sixth principle for a more judicious neural implication in regard to consciousness. This principle is that information is processed in the brain in six levels of complexity, undergoing a gradual gain in density, integration, congruity, and capacity in each consecutive stratum. The six levels are the following: 1. *organismic*, the integration of the nervous system with the rest of the organism systems; 2. *organic*, the integration of the different modules in the whole brain; 3. *modular*, the set of brain modules and their interconnections; 4. *intercellular*, the designs and functional bindings among neuron cells; 5. *cellular*, the set of brain cells, particularly neurons; 6. *molecular*, the chemical components that mediate the transmission of information.

In this fashion, the second requisite to uphold the emergence of consciousness lies in establishing that the different levels of brain organization constitute a pyramidal arrangement. Certainly, the number of elements is greater in the lower levels, while the integration of information is progressively enhanced in the upper levels. Moreover, this neuropychological pyramid insinuates both an ascending cascade whereby the lower orders stipulate and influence the upper ones, and a progressive and convergent functional enrichment ultimately resulting in the *qualia*, *feeling*, and *awareness* attributes of consciousness. Information flows horizontally in each level, but it also overflows vertically in both directions. This pyramidal scheme is applied to clarify two particular aspects of brain function that are closely linked to consciousness: the electrical activity and the engram of memory. Such inquiry makes clear that a qualitative jump manifested by the emergence of various and dissimilar novelties occur at each layer of brain operation based upon a mass coordination. It seems feasible to envision the engram, and conceivably every other mental representation, as a plastic pattern involving all levels and aspects of brain operation, including the pinnacle where consciousness consolidates as the subjective aspect of the uppermost brain function.

As a result of the proposed stratified and pyramidal scheme of brain functions, the first hypotheses is strengthened and specified.

* Las referencias bibliográficas aparecerán en la segunda parte de este artículo.

** Departamento de Historia y Filosofía de la Medicina, Facultad de Medicina. Universidad Nacional Autónoma de México. Brasil y Venezuela. Centro Histórico, México D.F.

Recibido: 20 de enero de 2006. Aceptado: 6 de febrero de 2006.

Thus, presumably consciousness and the neural capacities correlated to it constitute two associated aspects emerging from such particular functional hierarchy at the organic level of the brain by the efficient connection of its modules. It would not be required that all the modules of the brain became interrelated during a conscious processing, but that they would be functionally available instead, while some of them become progressively active by intermodular articulation, thereby making possible the arising and unfolding of conscious mental operation streams. In order to reinforce this notion, the visual system is invoked since the consciously perceived scene emerges from the coordination of some 40 modules that separately appear to operate unconsciously. At the moment that such high-hierarchy and complex function presumably appears, it would achieve a conscious correlate and become altogether able to exert a descending causality and supervene the operation of the lower orders, which, among other capacities, would permit voluntary action to take place.

In order to specify the first hypothesis, asserting that consciousness emerges at the organic level of the brain along with the proficient intermodular connectivity, a second hypothesis is formulated and justified in neuroanatomical, neurophysiological, and complex scientific terms. The supposition is that the specific neural correlate of consciousness may be a function similar to a bird flock or an insect swarm orderly binding the operations of different modules in a cinematic, hipercomplex, coherent, and synchronic stream. The human brain contains some 400 cortical and subcortical modules functioning as partially specialized stations that potentially interchange particularly codified information through some 2500 fibers or intermodular pathways. The hypothesis requires information complexity undergoing a further and substantial gain of attributions through the concise and prolific connectivity of the different modules. In this regard, it is supposed that a stream of coherent activation is constituted in the conscious brain by the intermodular dynamics and that such dynamics may acquire global patterned properties in a similar way as bird flocks and so-called *intelligent* swarms achieve unanimously shifting dynamics. This particular idea is supported with complex scientific models of the remarkable performances of large groups of birds and insects and with the known behavior of massive populations of neurons. In so far as this would be a complex function operating at the limits of equilibrium resulting from local dynamics of the brain subsystems, the self-organization of high level brain functions justifies the notion that a dynamic coupling among modules may result in complex cognitive properties and consciousness.

Intermodular brain dynamics is conceived here as an emergent, unbound, synchronic, hypercomplex, highly coherent, and tetradimensional process capable to navigate, steer, swirl, split, and flow throughout the brain and thereby connect very diverse systems in a fast and efficient manner. In the same way, its putative subjective correlate -the conscious process- may be conceived as an emergent, voluntary, unified, qualitative, and narrative process capable to access, coordinate, and integrate multiple local information mechanisms. The hypothesis poses that the conscious transformation of information is correlated, moment to moment and point to point, with the intermodular processing that evolves in the manner of a bird flock or swarm dynamics. It is finally posed that brain intermodular dynamics correlated to consciousness consolidates by the convergence of an ascending bottom-up organization of the different ranks of brain operation, and by the descending top-down influx of the social, cultural, and environmental information where the individual is immersed.

Key words: Consciousness, brain, emergence, brain correlate of consciousness, brain functional hierarchy, brain modularity, brain connectivity, dynamical systems, dual aspect theory.

Resumen

El presente trabajo plantea una teoría emergente y dinámica sobre el fundamento nervioso de la conciencia basada en dos hipótesis sucesivas, que se apoyan en evidencias provenientes de las neurociencias, en aproximaciones a las ciencias de la complejidad y en varios argumentos filosóficos. La primera de las hipótesis es que la conciencia emerge junto con el nivel más elevado de la función cerebral, es decir, en el lindero intermodular del órgano completo. Para fundamentar esta idea se establecen dos requisitos necesarios. El primero es el concepto, generalizado en las neurociencias, del cerebro como un órgano especializado en operar información y que en ello radican las actividades mentales, incluida la conciencia. El concepto se justifica por varias razones. La capacidad de cómputo del cerebro, tomando la sinapsis como un código binario de información, sería del orden de los 100 millones de *megabits*. Esta enorme cifra es aún limitada y engañosa, pues la sinapsis tiene tres estados posibles -excitación, reposo e inhibición-, además de que existen señales subumbrales y una densa maquinaria molecular de información intracelular. Para ilustrar el requisito *informacional* de la conciencia, es oportuno referir la teoría de la función cerebral expresada por Kuffler y Nichols en cinco principios rectores: 1. El cerebro usa señales eléctricas para procesar la información; 2. las señales eléctricas son idénticas en todas las neuronas; 3. las señales constituyen códigos de decodificación y representación; 4. el origen y destino de las fibras determina el contenido de la información; 5. el significado de las señales está en las interconexiones. Aunque al mencionar *representación*, *contenido* y *significado* se implican propiedades cognoscitivas y conscientes, es necesario agregar un sexto principio en el sentido de que la información es procesada en el cerebro en los siguientes seis niveles de complejidad, en cada uno de los cuales sufre una ganancia cualitativa de integración, densidad y alcance: 1. *organísmico*, la integración del sistema nervioso en el resto de los sistemas corporales; 2. *orgánico*, la integración de los diversos módulos cerebrales en el encéfalo; 3. *modular*, el conjunto de los módulos cerebrales y sus interconexiones; 4. *intercelular*, los diseños y enlaces funcionales entre neuronas; 5. *celular*, el conjunto de las células cerebrales; 6. *mlecular*, los componentes químicos del cerebro que intervienen en la transmisión de información.

De esta suerte, el segundo requisito para fundamentar la emergencia de la conciencia estriba en establecer que los niveles de organización cerebral están constituidos de manera piramidal, pues el número de sus componentes es mayor en los niveles inferiores en tanto que la integración de la información es sucesivamente mayor en los niveles superiores. Además, la pirámide neuropsicológica insinúa tanto una cascada ascendente por la cual los órdenes nerviosos inferiores estipulan e influyen en los superiores como un enriquecimiento funcional progresivo por la convergencia de estratos ascendentes en una síntesis que desemboca en el *sentir* y el *percatarse* propios de la conciencia. La información fluye horizontalmente en cada nivel, pero también lo hace verticalmente en ambos sentidos. Este esquema se aplica para esclarecer dos aspectos particulares de la función cerebral ligados funcionalmente a la conciencia: el proceso eléctrico y el engrama de la memoria. En cada nivel ocurre un brinco cualitativo mani-

festado por la emergencia de una novedad resultante de una coordinación en masa y es consecuente concebir el engrama y la representación mental como una modificación plástica en todos sus niveles y en varios de sus aspectos, incluido el vértice consciente.

De acuerdo con el procesamiento estratificado de la información y el esquema piramidal de la función cerebral, la primera hipótesis se refuerza y especifica en el sentido de que la conciencia y las aptitudes neurológicas correlacionadas con ella constituyen dos aspectos que surgen de esa jerarquía funcional en el nivel orgánico del cerebro enlazado por la eficiente conexión entre sus módulos. No sería necesario que todos los módulos del cerebro se activaran durante el procesamiento consciente, pero sí que estuvieran disponibles en tanto algunos de ellos se van activando sucesivamente y dando lugar a secuencias de operaciones conscientes. Para respaldar esta idea, se revisa el sistema visual en el cual la escena que vemos conscientemente surge de la coordinación de unos 40 módulos del cerebro que por separado operan de forma inconsciente. Una vez que surge esta función de alta jerarquía, que suponemos correlacionada con la conciencia, esta se encontraría en la aptitud de ejercer una causalidad descendente y modificar la operación de los órdenes más básicos, lo cual explicaría, entre otras cosas, la conducta voluntaria.

Para afinar la primera hipótesis, en el sentido de que la conciencia surge en el nivel orgánico gracias a la *conectividad* intermodular, se establece la segunda con el alegato de que el *correlato* nervioso más específico de la conciencia puede ser una función similar a una bandada de pájaros o a un enjambre funcional que enlaza diversos módulos cerebrales de manera cinemática, hipercompleja, coherente y sincrónica. Esta hipótesis se justifica con datos neuroanatómicos, neurofisiológicos y de las ciencias de la complejidad. El cerebro humano contiene aproximadamente 400 módulos corticales y subcorticales que intercambian funcionan como estaciones parcialmente especializadas que potencialmente sus operaciones mediante unas 2500 fibras o haces intermodulares. La hipótesis requiere que la complejidad de la información sufra una ganancia substancial de atribuciones por la conectividad de los módulos.

En este sentido, se supone que en el cerebro consciente ocurre un flujo coherente de activación constituido por una dinámica intermodular que puede adquirir las propiedades globales de una bandada de pájaros o un enjambre inteligente. Esta noción se fundamenta tanto en modelos del notable comportamiento unificado de grandes conjuntos de aves o insectos realizados en las ciencias de la complejidad como en el comportamiento cooperativo de poblaciones masivas de neuronas. En tanto función propia de un sistema complejo fuera del equilibro resultante de dinámicas locales estipuladas en los subsistemas, la autoorganización de pautas funcionales de alto nivel del cerebro justifica la idea de que un acoplamiento dinámico entre módulos pueda llegar a manifestar capacidades cognitivas superiores como la conciencia.

La dinámica intermodular del cerebro puede concebirse como un proceso emergente, autoordenado, desatado, sincrónico, *hipercomplejo*, altamente coherente y *espaciotemporal* apto para navegar, pulular, girar, escindirse o afluir a través del encéfalo y enlazar sus diversos subsistemas de forma veloz y efectiva. De la misma manera, su putativo reverso subjetivo, es decir, el procesamiento consciente, es un desarrollo emergente, atento, voluntario, unificado, complejo, cualitativo y narrativo capaz de acceder, coordinar e integrar múltiples mecanismos de información locales. La hipótesis plantea que la transformación consciente de información se correlaciona momento a momento y término a término con el procesamiento que se despliega entre módulos cerebrales en forma de una dinámica tipo parvada o enjambre. En tanto sistema emergente, la dinámica intermodular del cerebro surgiría por la convergencia de la organización ascendente (bottom-up) de los diversos niveles de operación del encéfalo y por el influjo descendente (top-down) del contexto social y ambiental de la información en los que está inmerso el individuo.

Palabras clave: Conciencia, cerebro, emergencia, *correlato* nervioso de la conciencia, jerarquía funcional del cerebro, *modularidad* cerebral, *conectividad* cerebral, sistemas dinámicos, teoría del doble aspecto.

El cerebro y la información

Excepto por el universo mismo, el cerebro humano es la estructura natural más compleja del mundo conocido. En un volumen promedio de un kilo cuatrocientos gramos, el cerebro humano alberga más de 100 mil millones de neuronas, mayor cantidad que estrellas hay en toda la Vía Láctea; y esto sin contar las entre 20 y 40 células de la glía que se calcula existen por cada neurona. Además, dado que cada neurona comparte entre 1000 y 10000 conexiones sinápticas con otras y tomando, con cierta arbitrariedad a cada sinapsis como un bit de información, es decir, como un código binario de transferencia o interrupción de potenciales entre neuronas, el cerebro poseería la asombrosa capacidad de al menos 10 a la 14 bytes, o sea, la insólita cifra de unos 100 mil Gigabytes de información. A pesar de esta sorprendente magnitud de cómputo, el cerebro es aún mucho más potente que una hipotética computadora de esas colosales características, pues no sólo procesa información de manera digital, sino analógica. Incluso si consideramos un funcionamiento meramente digital, este sería más intrincado que el código binario de ceros y unos que utiliza la computadora, pues la sinapsis sigue un código *trinario,* o de tres estados: excitación, reposo e inhibición, lo cual multiplica de manera desusada la capacidad informativa del cerebro, pues la inhibición no equivale al reposo, sino que forma una parte singular de la información nerviosa. Todo ello sin tomar en cuenta los potenciales sinápticos subliminales que bien pueden constituir señales y acarrear información de una manera analógica y cualitativa. Más aún, a diferencia del ordenador digital, el cerebro sería un biocomputador húmedo que, además de potenciales todo o nada y sinápticos subliminales, presenta una inmensa maquinaria molecular de información intracelular y se organiza como un biosistema jerárquico de múltiples niveles en que se cristalizan propiedades emergentes hasta cierto punto irreductibles, en el sentido de que desafían tenazmente la comprensión en términos de sus integrantes.

Una apuesta prácticamente explícita de la investigación cerebral actual es que el fundamento de las operaciones mentales, incluida en ellas la conciencia, se basa en la extraordinaria capacidad del cerebro para procesar información. En efecto, el progreso de la neurobiología ha ocurrido en varios frentes distintos que ostentan la información como su concepto clave. Por un lado está el entendimiento de las bases moleculares del tejido nervioso y la manera en que la información genética da origen a la forma, la estructura y las funciones bioquímicas y eléctricas de neuronas, de otras células cerebrales, de las conexiones y de los arreglos estructurales. Por otro lado se encuentra el estudio de las capacidades de sensibilidad específicas de la neurona y el tejido nervioso. Esta búsqueda pretende dilucidar la transferencia de información entre neuronas, en especial mediante la transmisión química y los potenciales eléctricos que se disparan en diversos códigos de frecuencia, con lo que constituyen bloques básicos de representación basados en arreglos compactos de comunicación. En otro frente está la comprensión del modo en que las neuronas se organizan en redes, éstas en engarces arquitectónicos particulares y éstos, a su vez, en módulos y núcleos que en su conjunto estipulan las funciones superiores del cerebro. En varios de estos abordajes confluyen necesariamente investigaciones de orden psicológico con las de índole biológica, como sucede con la neuropsicología, la psicofisiología, la psicofarmacología, la psicobiología o la reciente neurociencia cognitiva. En esta convergencia múltiple entre las ciencias biológicas y psicológicas se espera obtener respuestas apropiadas a las interrogantes más audaces que plantea la investigación cerebral, es decir, a la manera como se generan la inteligencia, el conocimiento o la conciencia humanas.

El fundamento de los diversos frentes de la neurobiología para tomar la información como piedra de toque consiste en que la neurociencia moderna concibe el cerebro como un biosistema procesador de información. De hecho, es posible enunciar una teoría general de la función cerebral precisamente en términos de la articulación, conversión y manejo de información. Como un buen ejemplo de ello se puede recordar que, en el resumen del primer capítulo de su admirable texto sobre neurobiología *From Neuron to Brain*, Kuffler y Nichols establecieron en 1976 los siguientes cinco principios rectores de este paradigma que bien podemos llamar neuropsicológico y que seguramente sigue en vigor hoy en día:

1. El cerebro usa señales eléctricas para procesar la información.
2. Las señales eléctricas son idénticas en todas las neuronas.
3. Las señales constituyen códigos de decodificación y representación.
4. El origen y destino de las fibras determina el contenido de la información.
5. El significado de las señales está en las interconexiones.

Como se puede ver, en esta depurada teoría de la función cerebral, la transmisión de señales pautadas entre neuronas se considera como el código electroquímico portador de información, no sólo en el sentido de transportar signos, sino en el de representar significados. De esta manera, aunque en esta teoría no se menciona explícitamente la cognición o la conciencia, ambas están rotundamente implicadas en la definición de sus principios rectores al hablarse en los últimos tres de *representación*, *contenido* y *significado*, términos palmariamente psicológicos y cognoscitivos. De gran importancia resulta la idea de que el contenido de la información está determinado por el origen y el destino de las fibras en tanto que el significado se halla en las interconexiones, pues se implica que la conciencia, ligada cercanamente al significado, dependería también de una correspondencia efectiva entre zonas cerebrales, lo cual constituye un punto cardinal en la teoría que se detallará abajo. Sin embargo, para llegar a ello es necesario agregar un sexto principio de la función nerviosa en el sentido de que la información se procesa en el cerebro en distintos niveles de complejidad, en cada uno de los cuales sufre una ganancia cualitativa de integración, densidad y alcance. De esta forma, se puede proponer que el cerebro es un biosistema estratificado en seis niveles de organización mutuamente dependientes y que se definen por la emergencia de nuevas propiedades en cada uno de ellos, como veremos ahora.

La pirámide cerebral

Los seis niveles de organización cerebral, en orden de jerarquía y complejidad, son los siguientes:

- **Organísmico:** La integración del Sistema Nervioso con el resto de los sistemas corporales, en especial el muscular, el visceral y el endocrino.
- **Orgánico:** La integración de los diversos módulos y subsistemas cerebrales en el encéfalo como un todo u órgano funcional.
- **Modular:** El conjunto de los módulos cerebrales (subsistemas, zonas y núcleos nerviosos) y las vías de conexión entre ellos.
- **Intercelular:** Los conjuntos configurados de conexiones entre neuronas, sean diseños morfológicos o enlaces funcionales, llamados redes neuronales. En la *arquitectura* y *alambrado* del tejido nervioso destaca la organización en capas y en columnas de la corteza cerebral.
- **Celular:** El conjunto de las células cerebrales, es decir neuronas y células de la glía.

- **Molecular:** Los componentes químicos del cerebro, en especial las moléculas que intervienen directamente en la transmisión de información, como neurotransmisores, neuromoduladores o receptores y en la polarización de la membrana, como los canales iónicos.

Los niveles morfológicos y funcionales del cerebro están constituidos de una manera que se puede concebir como piramidal, en el sentido de que el número de sus componentes es mayor en los niveles inferiores que en los superiores, en tanto que la integración de la información es más compacta, representativa y ejecutiva conforme se asciende a los niveles superiores. De esta forma, cada nivel se compone de elementos enlazados y articulados del grado inferior, los cuales se acoplan y coordinan para producir un nuevo arreglo estructural y funcional que constituye a su vez el nivel inmediato superior y en el cual se cristalizan o emergen funciones originales de mayor nivel de injerencia y contenido en virtud precisamente de ese vínculo y acoplamiento (Goodman, 1996). La información fluye horizontalmente en cada nivel, pero también lo hace verticalmente en ambos sentidos. Esto quiere decir que es posible tanto afectar un nivel superior desde la base *(bottom-up)*, como influir también en los niveles inferiores desde los superiores *(top-down)*.

Este esquema de niveles jerárquicos es útil para discernir la función cerebral en diversos aspectos. Por ejemplo, para comprender mejor la emergencia de capacidades cognoscitivas y conscientes, se pueden destacar dos aspectos particulares de la función cerebral: el proceso eléctrico y el engrama de la memoria. Veamos en primer lugar algunas características eléctricas propias de cada nivel de organización cerebral, teniendo en mente el primer principio de Kuffler y Nichols en el sentido de que el cerebro usa un código eléctrico para operar la información:

- **Organísmico.** Señalización aferente (de entrada) y eferente (de salida) de los impulsos nerviosos entre el sistema nervioso central y el resto del cuerpo. Potenciales evocados, cuyos componentes temporales permiten identificar relevos parciales de la vía estimulada.
- **Orgánico.** Integración eléctrica del electroencefalograma. Enlace funcional entre zonas distantes que descargan conjuntamente a una frecuencia determinada.
- **Modular.** Génesis de los diferentes ritmos electroencefalográficos. Campos receptivos y motores.
- **Intercelular.** Transmisión sináptica de los impulsos eléctricos. Potenciales de campo. Actividad local en redes neuronales.
- **Celular.** Potenciales sinápticos y de acción. Codificación en pautas y salvas de disparo.
- **Molecular.** Cambios en la polaridad de la membrana por la actividad de los canales iónicos: excitación (depolarización), reposo (polarización) e inhibición (hiperpolarización).

Con este simple ejercicio comprobamos que cada uno de los niveles de operación se integra por la actividad coordinada de las señales eléctricas del nivel inferior. Constatamos también que en cada nivel ocurre un brinco cualitativo de capacidad y competencia, que se manifiesta por la adquisición y emergencia de una novedad eléctrica que no existe en el nivel inferior, pero que se puede entender hasta cierto punto como resultante de una coordinación en masa. Es lícito suponer que cada una de estas ganancias cualitativas de información eléctrica se corresponda con brincos cualitativos de información cognoscitiva.

También es posible y sugerente utilizar el esquema jerárquico y piramidal para realizar una correlación en referencia al engrama de la memoria, es decir, a la supuesta huella nerviosa que debe dejar la experiencia para poder ser almacenada con el aprendizaje y recuperada con el recuerdo. A lo largo del tiempo han surgido múltiples teorías sobre la naturaleza del engrama y esto ha producido cierta confusión en el campo de su estudio. Sin embargo, hoy en día es posible esclarecer que se han producido diversas teorías y originado numerosos experimentos que usualmente inciden sobre un nivel específico de la jerarquía piramidal del sistema neuropsicológico. De esta forma, se ha informado que el aprendizaje y la memoria afectan cada uno de los niveles de la siguiente forma, dicho todo de manera muy esquemática:

- **Organísmico.** Modificaciones en pautas de comportamiento y neuroendocrinas.
- **Orgánico.** Modificaciones en el tamaño y la configuración del cerebro por la experiencia. Codificación en redes funcionales y movibles.
- **Modular.** Modificaciones en talla, composición química o textura fina de núcleos y módulos particulares, como el hipocampo, el cuerpo caudado y el cerebelo.
- **Intercelular.** Producción de nuevos circuitos reverberantes y sistemas de retroacción interneuronal *(feedback)*. Sinaptogénesis en vías estimuladas.
- **Celular.** Facilitación de ciertas sinapsis (hipótesis de Hebb) y potenciación a largo plazo.
- **Molecular.** Modificación en los niveles, liberación o recambio de neurotransmisores y neuromoduladores. Formación de nuevas especies de macromoléculas.

De acuerdo con este esquema piramidal, es consecuente y aclaratorio definir el engrama como una modificación plástica del Sistema Nervioso en todos sus

niveles, de manera tal que es posible reconocer cambios duraderos en la composición y configuración del cerebro en cualquiera de ellos. Tales modificaciones son cambios plásticos y robustos que abarcan todos los niveles de organización cerebral y varios de sus aspectos, como el morfológico, el eléctrico y el molecular. Como se puede suponer que sucede en muchas de las llamadas representaciones mentales, el engrama de la memoria es una huella dúctil y móvil que abarca los varios niveles estructurales y funcionales del cerebro.

En referencia al mecanismo de recuperación de la información, que necesariamente involucra a la conciencia, es importante anotar que las imágenes cerebrales han mostrado que la memoria de objetos se almacena como una red distribuida en múltiples áreas corticales mediante proyecciones intermodulares. Esta proyección hace que la memoria sea más resistente a la extinción y que sea de más fácil recuperación para la conciencia (Levy, Horn y Ruppin, 1999). Tal restitución debe ser una forma de emergencia en el sentido de que un contenido inconsciente, en tanto información latente y almacenada, surge y se torna explícita o consciente. En este punto vale la pena retomar y analizar críticamente el tema de la conciencia como propiedad emergente (Scott, 1995), pero tomando concretamente en cuenta el esquema piramidal y jerárquico del cerebro planteado hasta aquí.