



UNA LECTURA DE LA NEUROBIOLOGÍA ACTUAL DESDE LA ANTROPOLOGÍA TRASCENDENTAL DE LEONARDO POLO

NATALIA LÓPEZ MORATALLA

Documento recibido: 25-VIII-2008

Versión definitiva: 29-IX-2008

BIBLID [1139-6600 (2009) n° 11; pp. 21-46]

RESUMEN: La noción poliana de “potencia formal” permite teorizar los datos de las neurociencias. El cerebro constituye una unidad funcional con dinámica epigenética que armoniza múltiples y diversas funciones, en orden al conocimiento, en orden a lo tendencial, a lo motor, etc., porque existe una “función unitaria de conexión”. La unidad no es fija sino que esta función armoniza las variaciones, interrupciones y comienzos. La regulación de la dinámica funcional, que indetermina y libera las estructuras psíquicas humanas del automatismo neurológico, supone el frenado intrínseco de los flujos de información cognitiva y emocional de los procesos neuronales. Se describe la integración de áreas cognitivas-afectivas de los circuitos que permiten evaluar la información sensorial, elaborar la respuesta en relación con los demás, o tomar decisiones. Tal función reguladora de la integración dinámica de las múltiples facultades cerebrales se ejerce en la cúspide de la jerarquía del sistema nervioso, la corteza cerebral, especialmente el lóbulo frontal.

Palabras clave: Potencia formal, inhibición neurológica, unidad destotalizante, regulación jerárquica.

SUMMARY: The polian notion of “formal potency” makes possible to theorize about the data of neuroscience. Brain constitutes a functional unity with an epigenetic dynamics that harmonizes multiple and diverse functions, devoted to knowledge, tendencies, motor function etc... because a unitarian connected function exists. The unity is not fixed: this function harmonizes the variations, interruptions and beginnings. The regulation of the functional dynamics that produces indetermination and freedom of the human psychic functions over the neurologic automatism, produces the intrinsic inhibition of the inputs of cognitive and emotional information of the neuronal process. It is described that the integration of the cognitive-affective areas of these circuits makes possible to evaluate the sensorial information, to elaborate the response in relation with the others or to take decisions. Such a regulatory function of the dynamic integration of the multiple brain functions it is performed at the highest level of the nervous system, in the brain cortex, mainly on the frontal lobe.

Key words: Formal potency, neurologic inhibition, distotalizing unity, hierarchical regulation.

1. Planteamiento del tema

Leonardo Polo muestra —en la Lección primera, del volumen II de su obra *Curso de teoría del conocimiento*¹— que la “noción de potencia formal tiene cabida en el sistema nervioso tal como la investigación científica lo va descubriendo”. Para ello “acude a la intencionalidad en el intento de hacer sitio a la noción de facultad en la neurología”. La cuestión que le ocupa en ese texto es el paso de lo real a lo intencional: “no podemos admitir —señala— ni la identidad del cerebro con lo intencional, ni la relación entre ambos. Se trata exactamente de entender el cerebro como antecedente de la intencionalidad (noción de potencia formal)”.

En el presente estudio se tratará de teorizar los conocimientos, en gran medida recientes, de las ciencias neurobiológicas a la luz de la tesis central de Polo: las facultades específicamente humanas, de modo especial las facultades cognoscitivas orgánicas, indeterminan los procesos fisiológicos neuronales eliminando los límites de la determinación que, la misma estructura del órgano cerebro, ejerce sobre las operaciones tanto sensitivas, como tendenciales o motoras. El aporte más significativo para las neurociencias es su afirmación de “el equivalente de la noción de facultad cognoscitiva orgánica, que se formula desde el punto de vista de la filosofía, ha de buscarse principalmente en el concepto neurológico de inhibición”. Un frenado de los procesos neuronales que lejos de ser extrínseco, supone una regulación de la dinámica funcional, que indetermina y libera las estructuras psíquicas del automatismo biológico.

Tomando como punto de vista de la dinámica de la vida —la epigénesis regulativa— un paradigma de lo vivo recientemente alcanzado por las ciencias biológicas, los procesos cognitivos sensibles o intelectuales, emocionales, el comportamiento o la conducta, etc., han de verse desde la vida del viviente. Todas las formas de vida tienen como característica central el hecho de que la forma le pertenece al viviente.

En el hombre el crecimiento cognoscitivo no termina en la sensibilidad, y su conducta es distinta del comportamiento animal puesto que puede liberarse del automatismo biológico, debido a que tanto sensibilidad como la conducta están integradas por el conocimiento intelectual. De ahí que trataré de marcar una primera diferencia entre los dos niveles cognoscitivos —conocimiento sensible y conocimiento intelectual— apoyándome en la comparación de la neurobiología humana y no-humana.

1. L. POLO, *Curso de teoría del conocimiento*, II, 3ª edición, Eunsa, Pamplona, 1998.



2. Algunos avances de las neurociencias que permiten avanzar en su teorización

Actualmente, el desarrollo que han experimentado las ciencias biológicas y médicas ha permitido alcanzar una comprensión mucho más precisa de la organización funcional del sistema nervioso, asociado al normal desenvolvimiento de la vida mental. Las ideas acerca de que la mente no sea sino “un rasgo del cerebro”, o que la realidad mental sea un “algo”, una realidad diferente, que pueda interactuar con la realidad material, ha ido dando paso en a una concepción unitaria de los procesos neuronales integrados en las funciones cognitivas y volitivas del ser humano. El tiempo de los reduccionismos, de cualquier signo, parece haber pasado.

2.1. *Entrelazamiento funcional de lo cognitivo y lo emotivo*

En primer lugar, el progreso más significativo de la nueva Neurobiología posiblemente sea que las categorías emocionales-afectivas y cognitivas no son separables. Las respuestas a estímulos, el comportamiento animal y la conducta humana, requiere la integración bien orquestada de múltiples áreas. Es la agregación unitaria, integración, de la función de estas áreas cerebrales lo que conduce a sentir y a conocer. Cuando esta integración tiene lugar se difumina y se borra la distinción entre ambos. Emoción y cognición son, de hecho, sólo mínimamente descomponibles.

Se supera así el punto de vista, mantenido hasta recientemente, según el cual la organización del cerebro consiste en una distribución de funciones por áreas locales, situadas tanto en la corteza cerebral, o en capa más interior, sistema límbico, de la anatomía de los hemisferios cerebrales. Una tal especialización funcional permitiría que unas regiones pudiesen ser conceptualizadas como “afectivas” y otras como “cognitivas”. Típicamente, por ejemplo, el complejo amigdalino sería del dominio de la emoción y la corteza prefrontal lateral del de la cognición. Sin embargo, como exponen recientes estudios², el comportamiento cognitivo-emocional se basa en la integración dinámica de diversas áreas cerebrales, ninguna de las cuales son puramente emotivas o cognitivas. Más aún ambos tipos de regiones están organizadas como un núcleo central y unas extensiones que, en sí mismas, cada una son áreas complejas implicadas en numerosas funciones.

2. Cfr. L. PESSOA, “On the relationship between emotion and cognition”. *Nature Reviews Neuroscience*, 2008 (9), 148-158.

Los procesos cognitivos se refieren a memoria, atención y lenguaje, resolución de problemas y planificación. Muchos de estos procesos están implicados en funciones complejas y específicamente humanas. Más aún, frecuentemente están presentes en los llamados procesos controlados. Desde un punto de vista neuropsicológico la afectividad engloba la totalidad de la vida emocional. Las emociones está siendo más difíciles de investigar debido a que implican diferentes factores para diversos investigadores³: algunos incorporan el concepto de tendencia-propósito y motivación; para otros la emoción evalúa los eventos tanto de forma consciente como inconsciente. Y otros con un sentido unitario, en que destacan que el cerebro es cuerpo y ligán más la emoción al cuerpo⁴. En cualquier caso, el cerebro es cuerpo y las emociones no son cuestiones meramente cerebrales.

Los circuitos funcionales incluyen siempre múltiples regiones y sistemas neuroreguladores —excitadores e inhibidores—, que a su vez pueden funcionar con un feed-back. La funcionalidad de los circuitos es dinámica y dependiente del contexto. En el mundo de la topología cerebral que conecta neuronas existen regiones de muy alta capacidad de conexión, puntos nodales de comunicación, como es por ejemplo el complejo amigdalino. Sin embargo, otras áreas tienen una baja capacidad de conexión.

2.2. Genética y funciones neuronales

En segundo lugar, el avance en la secuenciación de nucleótidos de los genomas humano y de otras especies aporta conocimientos valiosos en orden a lo que nos ocupa⁵. Tal vez el dato más significativo es que la diferencia entre el genoma de los humanos y de los chimpancés no consiste en poseer más genes. Lo que contiene es mayor regulación de los que codifican las proteínas necesarias para establecer conexiones entre las neuronas. Estas conexiones aparecen durante el desarrollo embrionario e informan la cons-

-
3. Cfr. E. T. ROLLS, *Emotion explained*, Oxford University Press, Oxford, 2005.
 4. Cfr. A. R. DAMASIO, *The feeling of what happens: body and emotion in the making of consciousness*, Harcourt Brace, New York, 1999.
 5. Es interesante considerar que la diferencia entre los genomas humano y del chimpancé radical en la mayor expresión en el hombre de los genes que dirigen las conexiones entre neuronas durante el desarrollo cerebral (cfr. E. PENNISI, “Mining the Molecules That Made Our Mind”, *Science* 2006 (313), 1908-1911; N. LÓPEZ-MORATALLA, *La dinámica de evolución humana. Más con menos*, Pamplona, Eunsa, 2007. También el hecho de que la incorporación a los circuitos cerebrales de células madre de reserva en el cerebro se hace fundamentalmente a los de la corteza cerebral; es decir, la neurogénesis en la vida adulta tiene una contribución selectiva a funciones cognitivas específicas (Cfr. C.-L. ZHANG – Y. ZOU – W. HE – F. H. GAGE – R. M. EVANS, “A role for adult TLX-positive neural stem cells in learning and behaviour”, *Nature*, 2008, (doi:10.1038/nature06562).

trucción del cerebro. Esto es, la información genética de cada hombre permite un cerebro no sólo mayor que el de cualquier animal sino de mucha más complejidad; un cerebro capaz de establecer una riqueza espectacular de conexiones entre neuronas no sólo durante el desarrollo, sino a lo largo de toda la vida. Son así el presupuesto biológico, el antecedente, para el funcionamiento del peculiar cerebro humano.

Además el cerebro humano es de mayor tamaño —en relación al tamaño corporal— que en ningún otro primate. Ahora bien no se debe a un mayor número de neuronas, sino a la alta relación entre astrocitos (células de la neuroglía antes consideradas como simples soportes de las neuronas) y neuronas. Los astrocitos intervienen de una manera activa en el procesamiento cerebral de la información.

2.3. *Dinámica del flujo de información neuronal*

En tercer lugar, se ha avanzado considerablemente en el conocimiento del control del flujo de la información y el papel que desempeñan los mecanismos de inhibición de la comunicación entre neuronas. A la existencia de neurotransmisores que inhiben la sinapsis se añade el hecho de que la velocidad de transmisión de información, mediada por la liberación de neurotransmisores en las sinapsis entre neuronas, está modulada además por la función de las células de la neuroglía⁶. En este campo el conocimiento de las “sinapsis tripartitas” adquiere una especial relevancia. Los astrocitos presentan excitabilidad celular y sufren cambios en su potencial de membrana, que consisten en variaciones intracelulares de la concentración citoplásmica de ión calcio. Esta señal intracelular desencadena diversas respuestas y generar una onda de calcio: una nueva forma de comunicación intercelular a larga distancia en el sistema nervioso. Los astrocitos se encuentran en estrecha relación física con las neuronas, lo que permite su interacción funcional con las neuronas pre y postsinápticas. La transferencia de información es bidireccional de las neuronas a los astrocitos y a la inversa: es una sinapsis tripartita en la que el astrocito es elemento modulador.

6. Cfr. D. T. THEODOSIS – D. A. POULAIN – S. H. R. OLIET, “Activity-Dependent Structural and Functional Plasticity of Astrocyte-Neuron Interactions”, *Physiological Review*, 2008 (88), 983-1008; S. H. R. OLIET – A. PANATIER – R. PIET – J-P. MOTHET – D. A. POULAIN – D. T. THEODOSIS, “Neuron-glia interactions in the rat supraoptic nucleus”, *In Progress in Brain Research*, Vol. 170, Chapter 10; I. D. NEUMANN and R. LANDGRAF (Eds.); G. PEREA – A. ARANQUE, “Sinapsis tripartita”, *Mente y cerebro*, 2007 (27), 50-55.

La experiencia modula en el adulto la estructura cerebral —plasticidad estructural— y la funcionalidad neural —plasticidad sináptica—. La intervención de las células de la glía, cambiando la relación física con las neuronas interconectadas en sinapsis, se ha puesto de manifiesto en procesos como la estimulación sensorial y el aprendizaje. Además, se ha encontrado en el hipotálamo una plasticidad morfológica de neuronas y astrocitos reversible, durante el parto y la lactancia.

Otro aspecto importante del control del flujo de transmisión neuronal ha sido el conocimiento acerca de la dinámica caótica. La irregularidad intrínseca de la dinámica temporal y espacial de los sistemas complejos es el lado irregular de la Naturaleza, sus discontinuidades y comportamientos impredecibles que no son imperfección, ni excepción. No se trata sólo de un aumento considerable de los grados de libertad en el dinamismo de un fenómeno, sino de una “pauta nacida de lo informe”. La indeterminación en la dirección de un proceso temporal no es azar. Una oscilación en el tiempo, que cambie el periodo de fluctuación, una frecuencia desacoplada o una intermitencia conduce a que un sistema, en ausencia de ruido y de todo tipo de fluctuaciones (internas o externas) pueda presentar un comportamiento a-periódico indeterminado. Sin duda el cerebro es el órgano más caótico. El funcionamiento del cerebro no responde a ninguna simplificación lineal, mecanicista, estímulo-respuesta del tipo “gen-peptido neurotransmisor-receptor-sinapsis-comportamiento”⁷.

3. Dinámica epigenética de la vida y la noción poliana de potencia formal

Durante tiempo los científicos han buscado “correlatos” entre lo psíquico y lo neural, teniendo el termino correlato el sentido de que lo neural causa lo psíquico. El paradigma, instalado ahora, en las ciencias de la vida acerca del dinamismo de los procesos temporales del viviente, nos permite acercarnos al concepto de vida vegetativa, vida sensitiva y vida intelectual como la vida unitaria del vegetal, animal y humano, que engloba en unidad los niveles inferiores respectivamente.

Sentir es un acto del organismo vivo y no de su cerebro, como pensar es un acto de la persona viva. Toda forma de vida tiene como característica central el hecho de que posee la información para su construcción y desarrollo. El dinamismo del viviente es *epigenético regulativo*: las señales del en-

7. F. MONTERO – F. MORÁN, *Biofísica. Procesos de autoorganización en Biología*, Eudema Universidad, Madrid, 1992; J. GLEICK, “Caos, la creación de una ciencia”, Seix Barral, Barcelona, 1988.



torno que se generan con el proceso modulan, amplían y retroalimenta la información de partida de forma unitaria según el espacio y el tiempo y ordenada al vivir.

El dinamismo del flujo de información cerebral es también de naturaleza epigenética.

3.1. *Como plantea Leonardo Polo, “el crecimiento orgánico es una multiplicación celular en un sólo individuo en la propia línea de su unidad”*

El crecimiento de un organismo pluricelular añade la diferenciación a la mera reproducción. Por esto, el crecimiento no rompe la unidad del individuo.

La construcción y desarrollo de un organismo es un proceso cuyo dinamismo es *epigenético regulativo*: las señales del entorno modulan, amplían y retroalimentan la información de los genes, de forma unitaria según el espacio y el tiempo y ordenada al vivir. En efecto, el soporte material de la información genética, el DNA, es el mismo para todas las células del organismo. La información de primer nivel, la secuencia de los nucleótidos del material genético, es inmaterial y es la causa formal de la construcción de los diversos componentes del organismo. El proceso de desarrollo supone una expresión diferencial de la información; es decir, que solo se expresan en cada tipo celular, según el sitio que ocupa y en cada tiempo, unos genes y otros queden silenciados. Así se constituyen órganos distintos desde células diferentes. La información genética —la secuencia de nucleótidos del DNA— se expresa, o actualiza, en cada momento en el sitio adecuado del organismo en desarrollo.

Pero para que sea un organismo se precisa además que esa información, que se aprovecha sólo parcialmente en cada célula, sea coordinada recíprocamente y de forma distributiva. Para ello requiere una regulación de la expresión de los genes en cada célula que coordine en unidad. De esta forma el hígado, y los demás órganos, se construyen y comienzan a funcionar en un momento adecuado y en el sitio que le corresponde, sin que su crecimiento rompa la unidad del organismo.

Esta información, que coordina la expresión espacio-temporal de los genes es un segundo nivel de información que emerge con el proceso mismo. Es decir, el proceso mismo conlleva una elevación de la información; más información que da plena y unitaria forma a la misma materia. Esta información no es genética —no es secuencia de nucleótidos— sino lo que en biolo-



gía se denomina *epigenética*. Posee el significado unitario del crecimiento. Es otro nivel de causa formal, a cuyo cargo corre la coordinación de la diferenciación armónica de las partes. En terminología poliana, un “sobrante formal” o una *potencia formal*.

Cada etapa de diferenciación celular deja huella en el soporte material (ocurren cambios en la estructura del DNA, o cambios químicos en las bases), que es el modo de regular la expresión de los genes. De lo que resulta una información para el control unitario de la expresión diferencial de los genes. De esta manera la información genética actualizada en cada célula está en potencia respecto a la unidad del organismo. Es información que potencia la forma y es así la causa formal del crecimiento unitario. La continua actualización de potencialidades supone que la información genética que ya está actualizada en cada célula está en potencia respecto a la unidad superior. Es decir, en cada célula, en cada momento concreto del desarrollo, se expresan unos genes y se silencian otros: se actualiza parcialmente la información genética aunque *en* la célula está a su vez el genoma entero. Y tal actualización está en potencia de ser armonizada y regulada siguiéndose una trayectoria de crecimiento ordenada espacio-temporalmente.

El programa de desarrollo, específico de los individuos de cada especie, se manifiesta en la ordenación sucesiva de los mensajes genéticos: es regulación de la expresión de los genes. Esta potencialidad es formal, es decir, es información. Obviamente, los cambios en el soporte material no tienen lugar en las partes informativas, los genes, sino en otras regiones que son las reguladoras; no cambia la información de primer nivel. Sin embargo, estos cambios, progresivos y acumulativos, en la estructura del material genético realimenta la información espacio-temporal. No destruye lo actualizado (célula diferenciada formando parte del órgano correspondiente), sino lo incorpora a la unidad del viviente. Lo que potencia o eleva es lo actual-formal según el primer nivel informativo.

El crecimiento orgánico tiene límite espacio-temporal que es intrínseco al viviente. La vida biológica por ser una continua actualización de potencialidades, una trayectoria con un inicio y un final preciso, tiene un límite marcado por la unidad que no puede superarse. La información genética no cambia, y la epigenética tiene una retroalimentación con el crecimiento limitado.

Así pues la información epigenética respecto a la función de crecimiento orgánico es control u ordenación en vistas a la unidad. En terminología de Polo “viene a ser como su facultad”. Facultad significa potencia: la facultad es propiamente sobrante formal. La potencia formal es una forma en movimiento: una retroalimentación o potenciación de la forma.

3.2. *El crecimiento orgánico una facultad con límite espacio-temporal*

Al viviente le corresponde poseer la forma que informa la materia, a diferencia de lo inerte que no la posee; en el viviente la correspondencia materia-forma es unívoca. El crecimiento es, por ello, la característica central del vivir. El viviente se *autoconstituye* actualizando la información genética recibida de los progenitores y se *autoconstruye* retroalimentando la forma. Potenciar la forma es este “hacer suyo” peculiar de la unidad; es armonizar en unidad los crecimientos parciales; el viviente autorregula su crecimiento.

El límite del crecimiento está marcado por la unidad en cada caso. El límite espacio-temporal es intrínseco al viviente. De hecho cada parte —célula u órgano— es capaz de un número no-rebasable de multiplicaciones, en tanto en cuanto está en la unidad de crecimiento que es el viviente. En cada parte, el ritmo de multiplicación es marcado por nuevas modificaciones del sustrato material de la información, en armonía unitaria. No crece más, ni dura más tiempo, que el que permite el límite marcado por la información genética y epigenética propias de los individuos de la especie a que pertenece.

Las diferencias en los genomas de las diversas especies no consiste sólo en el número y tipo de genes —contenido informativo genético—, sino en la facultad de crecimiento. En términos biológicos, la capacidad de amplificar y retroalimentar la información de primer nivel al regularla espacial y temporalmente. Este control distributivo permite que los individuos de especies con genomas muy similares puedan tener formas de vida de riqueza muy diferente. El “sobrante formal” de los vivientes es de diversa riqueza.

La causa formal de la vida del vegetal se gasta en la construcción de sus partes, que aportan la eficiencia, y tiene muy poca realimentación de la forma. La unidad actual-formal es propia de la reproducción y el crecimiento, que son las operaciones superiores de la vida vegetativa. Por el contrario, los animales poseen información genética para generar un sistema nervioso. La causa formal de la vida del animal no se agota en sus funciones de reproducción y crecimiento orgánico. Tienen la facultad cognoscitiva orgánica, una potencia de la forma o “sobrante formal”, más o menos rico, que hace suya la vida sensitiva.

4. **La actividad de las neuronas inicia un nuevo tipo de crecimiento**

Cualquier órgano, tejido o sistema de un organismo, excepto el sistema nervioso, llegan a término durante el periodo prenatal. Todos ellos están

acabados y realizan su función específica. Los individuos de cada una de las especies animales tienen información genética necesaria y suficiente para construir las células del sistema nervioso, y para sintetizar las moléculas que permiten y regulan la conexión entre neuronas.

El sistema nervioso se constituye en una unidad con una pluralidad de funciones y es una unidad en la que el fin no es su propio despliegue. Puede, por ello, definirse como la fase terminal del crecimiento orgánico, según Polo. Y esto no es debido a que las células que lo integran generadas de modo diferencial, como son las neuronas, no den lugar por multiplicación a nuevas neuronas, sino porque la actividad de las neuronas inicia un nuevo tipo de crecimiento.

En similitud con los dos niveles formales —de información genética y epigenética— del crecimiento orgánico, la construcción y maduración del sistema nervioso, y especialmente del órgano cerebro, consta también de dos niveles informativos. Se constituye en una unidad que es con una pluralidad de funciones y destotalizante en cuanto es una unidad en la que el fin no es su propio despliegue. Las células diferenciadas del sistema nervioso son partes funcionales, activas y vivas, y a su vez aprovechadas parcialmente.

4.1. *Primer nivel informativo: actividad neuronal en acto*

El primer nivel informativo lo constituye en cada momento las neuronas y los circuitos de transmisión de información que están funcionales, activos. Las neuronas, los circuitos neuronales, y sus conexiones, son funcionales y no meramente anatómicos. Ciertamente las neuronas están donde están y por tanto, sus conexiones se organizan en redes espaciales. Sin embargo, la conectividad es funcional y el entramado es sincronizable. En una neurona convergen numerosas sinapsis a tiempos concretos. Cada uno deja su mensaje y es la neurona la que los integra y envía a otras neuronas mensajes divergentes transmitiendo impulsos. Las células diferenciadas del sistema nervioso son partes funcionales, activas y vivas; el primer nivel es la actividad de la neurona, en acto.

La activación neuronal, precisamente por “retroalimentar” la información genética de las neuronas mediante la regulación de la expresión de los genes, modelan la estructura dinámica cerebral. La actividad neuronal es actual-formal. La información de los genes es necesaria para la construcción de neuronas, pero la correcta funcionalidad cerebral descansa en el establecimiento de las redes neuronales y este “cableado” no es fijo sino que se va ampliando con la actividad, o disecando si no hay uso, a lo largo de la vida



del viviente. Los circuitos tampoco son fijos, en cuanto siempre las neuronas son aprovechadas parcialmente.

4.2. *Segundo nivel de información: integración de actividades en cambio*

Es decir, la dinámica funcional del cerebro requiere un segundo nivel que controle integrando en las diversas funciones la actividad neuronal: una función unitaria de conexión que es cambiante. Esta función armoniza las variaciones, interrupciones y comienzos de la transmisión de información. Integra regulando de modo diferente según las diversas funciones. Como se señaló más arriba, la funcionalidad de los circuitos incluye tanto áreas cerebrales como sistemas de neurotransmisión; y existen áreas de mayor o menor capacidad de conexión.

El sistema nervioso funciona desmaterializando. No consta-de (células) sino de las funciones de transmisión de la información (primer nivel). A su vez, las neuronas, o los circuitos, activos funcionalmente en un momento, han de ser integrados mediante la función de conexión unitaria (segundo nivel). Integrar supone que lo ya actualizado, la actividad, esté en potencia de más. De ahí que el sistema nervioso no consta-de células, sino integra-en (potencia) aquello de que consta. De manera que la función de conexión, o facultad cognoscitiva ligada al órgano u orgánica, es principio de las operaciones cognoscitivas sensibles.

4.3. *Concepto neurológico de inhibición*

Pues bien, esta potenciación de neuronas se corresponde con el concepto neurológico de la inhibición. En el plano interneuronal existen funciones excitadoras e inhibitoras. Potenciar la forma es eliminar de ella lo que es causa material-eficiente del estímulo. El estímulo permite la generación de diversos tipos de circuitos que a su vez se relacionan entre sí: el producto de la actividad de estos circuitos es una pauta de disparo que se transmite a otro circuito⁸. El cerebro recibe el estímulo que le llega en virtud de una eficiencia: de una excitación.

Para que se destaque el contenido informativo del estímulo es preciso frenar la excitación, inhibir. La inhibición consiste en atenuar lo eficiente y material del funcionamiento físico-orgánico para que llegue a integrarse en

8. Cfr. A. DAMASIO, *El error de Descartes*, Crítica, Barcelona, 3ª ed., Drakontos Bolsillo, 2007, 295.



la unidad funcional del órgano. Esto es, puesto que la realidad del estímulo no es sólo forma, parece claro que el sistema nervioso debe encargarse de impedir el paso a todo aquello que no es puramente formal. De hecho, señala Polo, la inhibición consiste en atenuar lo eficiente y material del funcionamiento físico-orgánico, para que llegue a integrarse en la unidad funcional-formal del órgano (su sobrante formal). Se trata, dice, de “purificar el estímulo, precisarlo”. Se depura en virtud de la inhibición de los factores inherentes a una conducción que conlleva dimensiones físicas, materiales y de la eficiencia de la excitación.

Es des-materializar las neuronas que están vivas, y son inhibitoras e inhibidas en tanto que viven. No ejercen una acción de inhibir (mediante una sustancia) sino que ellas están inhibidas en acto, y al estarlo se les ha delimitado la forma. Esta desmaterialización, que eleva lo formal a costa de reducir lo material y eficiente del estímulo, permite pasar de lo orgánico a lo intencional. Es además “yuxtaponer en el tiempo” lo sincronizable. La inhibición no es reducir potencia; es sencillamente frenar la excitación del circuito neural.

Lo psíquico o mental es resultado del dinamismo integrador de la función neural, pero no se confunde con él. Emerge del desarrollo neurológico siguiendo las leyes propias de la epigénesis de la construcción del sistema nervioso de la especie a que pertenece el viviente. El dualismo entre lo intencional y lo real no es un paralelismo, ni simplemente se superpone, porque entre lo orgánico y lo intencional está la potencia formal. Sentir, percibir, etc, es un acto único en dos dimensiones, fisiológica y mental; no dos actos correlacionados.

Ciertamente, el conocimiento sensible depende de facultades orgánicas y por tanto la potencia tiene que ser compatible con la realidad actual del órgano. Sin embargo, la potencia formal es una forma en movimiento, en continuo cambio ya que está retroalimentada por las actualizaciones de potencialidades de las neuronas y sus conexiones. La facultad cognoscitiva orgánica no es una forma rígida, ni se agota en las actualizaciones orgánicas antecedentes pero obviamente tampoco se reduce a ellas precisamente porque crece, porque aumenta. Podemos decir, que por ser forma sobrante, se emplea en integrar la información neuronal actualizada.

5. Vida animal y conocimiento sensible

El cerebro constituye una unidad funcional dinámica con múltiples y diversas funciones porque existe una “función unitaria de conexión” (segun-

do nivel de información), que no es fija. Esta función armoniza las variaciones, interrupciones y comienzos. El sistema nervioso cumple funciones en orden al conocimiento, en orden a lo tendencial, a lo motor, etc., siendo una unidad. Pero no es una organización constante y su dinámica es, como la del crecimiento orgánico, es epigenética; y también como el crecimiento orgánico es regulado de forma diferente según las diversas funciones.

Así pues, a diferencia de otros órganos, en que la construcción está específicamente determinada a su función, el cerebro no funciona como un todo con una única función. El sistema nervioso no consta funcionalmente de células, sino de las funciones de transmisión de la información. Más aún, el dinamismo de la construcción cerebral a lo largo de la vida de un individuo es un *dinamismo epigenético* que retroalimenta el flujo de información. El sistema nervioso posee plasticidad ya que tiene también, como el crecimiento orgánico, una programación en relación con el medio. Y de igual forma, el DNA de las neuronas sufre cambios estructurales y químicos con el tiempo y especialmente con el uso de las neuronas.

En el crecimiento orgánico, el segundo nivel de información es principio de actividades y de operaciones ligadas a la materia organizada, a los órganos. En el sistema nervioso, la función de conexión unitaria (potencia formal) o facultad cognoscitiva orgánica, es principio de las operaciones cognoscitivas sensibles.

5.1. *Según Polo, las operaciones cognoscitivas del nivel de la sensibilidad son un tipo de crecimiento, que no es orgánico*

La operatividad del cerebro sobrepasa las determinaciones que éste establece, pero la limitación la pone el órgano. El conocimiento sensible tiene su principio potencial en el sistema nervioso, ya que éste se muestra como lo no rebasable por el crecimiento orgánico. Ahora bien, son también terminales a su modo: siguen un cierto tipo de crecimiento, pero no rebasan su propio nivel. Están en la unidad del viviente actualizando la vida. Las capacidades, como memoria, conocimiento animal, comportamiento animal surgen y dependen de la integración de circuitos neuronales. Descansan en la configuración de la materia.

La estructuración de la materia obviamente se realiza con la información genética propia y específica de cada especie. Sin embargo, existe lo que se denomina plasticidad neuronal, que se refiere a la modificación de los circuitos neuronales en base a la propia actividad nerviosa. La experiencia modela el funcionamiento de la actividad neuronal del momento (actual) y puede potencialmente modelar la estructura, en continua mutación, del cere-



bro. De esta manera permanece abierto, en cierta medida, y acotado en el tiempo, por las influencias del entorno. El control de la función de conexión es intrínseco. La vida sensitiva única del viviente animal “hace suyas” las operaciones cognoscitivas sensibles, es decir, las organiza en su unidad. Y como tal organización no consta sólo de operaciones cognoscitivas, sino también de tendencias y de actividades locomotrices, este complejo es el significado completo del llamado *comportamiento animal*.

La vida sensitiva animal es actividad inmanente; es decir, realiza una integración dinámica continua, que permite que el individuo reaccione como un todo. La respuesta del animal al estímulo presente (comida, por ejemplo) no es un mero mecanismo físico producido sólo por interacciones entre moléculas y células; es fisiológico, integrado en la unidad vital. El estímulo no es causa de la respuesta sino ocasión. Es decir, el comportamiento animal es intencional respecto a la tendencia y respecto al objeto conocido. La tendencia o instinto de comer para satisfacer el hambre, está en función de la necesidad de alimentarse para conservar la vida. Las respuestas del animal al estímulo es un automatismo dirigido desde dentro que asegura la supervivencia, en el entorno propio de los individuos de esa especie. El animal conoce solamente en función de su supervivencia y la de la especie.

A pesar de que el animal es, incluso, capaz de reconocer intersubjetivamente a otros animales, el conocimiento es siempre en “on”, en presente, mientras el objeto esté ante él. Además su conocer está incluido en el automatismo de la respuesta, en cuanto actúa siempre en orden a su supervivencia biológica, maximizando sus propios intereses⁹. Están encerrados en el automatismo de su neurofisiología; no pueden predecir las consecuencias de sus respuestas, si serán o no placenteras, si no tienen experiencia previa¹⁰. El animal siempre está en presente y nunca sale de su “sí mismo biológico”. No conoce los objetos como objetos.

En este sentido el conocimiento queda integrado en el circuito estímulo-respuesta. El conocimiento sensible en el animal requiere, de hecho, poca potenciación de neuronas, muy poca inhibición. Salvo en algunos animales, que tienen un tipo de conocimiento que se denomina “curioso” o no plenamente automático, conocer no es más que una fase de la respuesta al estímulo. O, dicho de otro modo, la función de conexión es pobre y limitada. La

9. Cfr. K. JENSEN – J. CALL – M. TOMASELLO, “Chimpanzees Are Rational Maximizers in an Ultimatum Game”, *Science*, 2007 (318), 107-109.

10. Cfr. A. G. SANFEY, “Social Decision-Making: Insights from Game Theory and Neuroscience”, *Science*, 2000 (318), 259-262.



vida meramente sensitiva no exige romper el automatismo. Este es el límite del conocimiento sensitivo que no se integra a un nivel superior.

Sentir es un acto único en dos dimensiones —fisiológico y mental—, no dos actos correlacionados. La integración controlada unitariamente de las diversas facultades, vida sensitiva, trasciende la función neuronal y de los circuitos integrados funcionalmente por las neuronas activas. Sentir es un acto del organismo vivo y no de su cerebro. Lo que se integra es funcional.

El paso de lo físico a lo intencional, la depuración de la forma, corre a cargo de la facultad cognoscitiva orgánica, que sincroniza los disparos; es decir, la función integradora unitaria requiere frenar la transmisión interneuronal. Ahora bien, este control por frenado no es material sino formal. Las neuronas están vivas, y son inhibitoras e inhibidas en tanto que viven. No ejercen una acción, están inhibidas en acto, y al estarlo se les ha delimitado la forma.

El conocimiento no va de lo físico a lo físico, sino de lo físico a lo intencional. Y la respuesta al estímulo hace ingresar de nuevo en el mundo físico, pero sólo desde lo intencional, a base de excitación neuronal. Según el concepto de potenciación neuronal que acabamos de señalar, la *causación mental* se realizaría aumentando la causa formal a costa de la causa material-eficiente. El sobrante formal hace suya la especie impresa, es decir, una forma despojada de sus concausas.

5.2. *La vida meramente sensitiva no exige romper el automatismo*

No exige frenado. Los mecanismos rápidos de transferencia de información tienen notables ventajas adaptativas y resultan esenciales en los animales. Ahora bien, los procesos lentos moduladores puedan ser idóneos para un fino ajuste, una modelación por frenado, en el procesamiento complejo de información del hombre. Un ejemplo muy plástico se recoge al respecto en el artículo ya citado de Gertrudis Perea y Alfonso Aranque. El animal al ver un león requiere rapidez para huir; el hombre necesita pararse para idear una trampa con que cazar al león.

El aprendizaje y la adaptación, en circunstancias temporales como las ligadas a la reproducción, exigen freno en la velocidad de excitación neuronal que regule la velocidad de los flujos de los circuitos. Y como hemos señalado se realiza a través de una plasticidad morfológica en las sinapsis tripartitas; de forma pasiva, en algunos casos (adaptación a la lactancia en ratas), mediante cambios estructurales en la disposición física entre astrocitos y sinapsis. Y, de forma activa, en función de cambios de velocidad de

la comunicación entre neuronas. Se conoce que entre neuronas la comunicación ocurre en milisegundos y que la velocidad de propagación por potenciales de acción es de metros por segundo. En cambio la excitación por astrocitos es más lenta: decenas de segundo y micras por segundo, respectivamente.

Por último, señalamos que las experiencias “sociales” durante la vida influyen la expresión de los genes y con ello el comportamiento. Dan lugar a una modificación epigenética del DNA, que regula la expresión de los genes. Un ejemplo bien conocido es cómo la interacción con la madre en las primeras fases de la vida postnatal cambia el fenotipo cerebral. Este cambio que altera permanentemente la regulación de ciertos genes se conoce como programación ambiental¹¹. De esa forma, los cuidados y las caricias maternas, influye en el desarrollo emocional cognitivo del hijo¹². Es decir, el “cerebro social” especializado en las interacciones sociales se moldea con ellas¹³.

6. Conocimiento humano sensible e intelectual

El antecedente de la conducta humana es un cerebro humano. El cerebro humano tiene una estructura peculiar y un desarrollo con unas características que le diferencian del cerebro animal. Sucintamente son: a) un desarrollo de la corteza cerebral especialmente del lóbulo frontal; b) una asimetría funcional de los dos hemisferios. c) un crecimiento muy rápido durante los primeros años de vida postnatal del número de neuronas, con rápido aumento del tamaño del cerebro respecto al tamaño corporal.

Es muy significativo del cerebro humano el hecho de que tiene una permanente plasticidad; plasticidad que se mantiene en tanto se relaciona con los demás y lo demás. La sensibilidad humana es mucho más rica que la animal ya que la base neural es enormemente plástica, capaz de instaurar millares de conexiones sinápticas. Además, el crecimiento cognoscitivo

11. Cfr. A. R. ISLES – W. DAVIES – L. S. WILKINSON, “Genomic imprinting and the social brain”, *Philosophical Transactions*, 2006 (361), 2229-2237.

12. Cfr. I. C. G. WEAVER, “Epigenetic Programming by Maternal Behavior and Pharmacological Intervention. Nature Versus Nurture: Let’s Call The Whole Thing Off”, *Epigenetics*, 2007 (21), 22-28.

13. Cfr. F. A. CHAMPAGNE – J. P. CURLEY, “How social experiences influence the brain”, *Current Opinion in Neurobiology*, 2005 (15), 704-709; M. J. MEANEY – M. SZYF, “Maternal care as model for experience-dependent chromatin plasticity?”, *Trends in Neurosciences*, 2005 (28), 456-463.

humano no termina en la sensibilidad, y su conducta práctica es distinta del comportamiento animal, pues está integrada por el conocimiento intelectual.

6.1. *La humana es una psique abierta, liberada del automatismo de la animal*

De forma similar a los animales, los humanos poseen una función unitaria de conexión cerebral. El acto cognitivo está unido a la sensibilidad. Conocer es otra dimensión integrada de forma unitaria y atribuible al sujeto. Es el hombre quien siente y piensa con un dinamismo que, materialmente o como antecedente, depende del cerebro madurado en cada uno y por cada uno. El pensamiento no existe en sí, sino en cada hombre y está siempre en cada uno, opere o no opere. Cada ser humano posee conocimiento objetivo de la realidad, como realidad en sí misma y no como mera conveniencia para las necesidades biológicas, que permite dar razón de, o hacerse cargo de ella. Más aún, ese despegarse de “lo otro” para hacerse cargo se acompaña de una voluntaria aceptación y apego, o rechazo, de amor o de desamor hacia ese “otro”; todas ellas características específicas de la conducta humana.

El hombre es capaz de sacar de la experiencia una estructura abstracta inteligible y esencial, independiente de las necesidades biológicas. Opera en *off* y no solo en *on*; y, además, simultáneamente. Por ello el hombre se decide: trae al presente el pasado y proyecta el futuro. Puede, a diferencia de los animales, puede experimentar el futuro, o en terminología de Damasio tiene “memorias del futuro”, en tanto que puede predecir las consecuencias placenteras o dolorosas sin haber tenido nunca esa experiencia concreta.

La capacidad humana de tener en el mismo presente, a simultáneo, lo en *on* y en *off* hace que a todos los actos del pensamiento les acompañe el acto de conciencia: una reflexividad concomitante e inseparable a la intención cognoscitiva. Al hacerse cargo de la realidad con la conciencia de ser él mismo y diferente de la realidad —conciencia de sí mismo o autoconciencia— la conducta humana no es solo tendencial hacia algo, sino que se dirige a fines propios del sujeto. Sólo en la psique humana existe la función de conciencia y es la que le hace al hombre despegarse del mundo externo, del universo, y ser autoconsciente.

¿Qué función cerebral se encarga de la demarcación entre el funcionamiento cerebral, y lo conocido de modo consciente? Claramente se trata de una función reguladora de la integración dinámica de las múltiples facultades cerebrales tanto cognitivas como afectivas, que se ejerce en la cúspide de la jerarquía del sistema nervioso. La corteza cerebral, especialmente el lóbulo frontal, es la más flexible, más frenable, y controla las partes más arcaicas.



En general en el flujo de información hacia la corteza y sus interconexiones (de lo físico a lo intencional) predomina la inhibición, como se ha señalado, mientras que en el flujo que parte de la corteza cerebral predomina la excitación. Las inhibiciones terminales de las neuronas corticales no es requerida por otras funciones nerviosas que no son antecedentes del conocimiento.

El frenado de los procesos neuronales, que ejerce la inhibición, no es extrínseco, sino que supone una regulación (segundo nivel) de la dinámica funcional que libera las estructuras psíquicas (primer nivel) del automatismo biológico. Liberan del sometimiento a los fenómenos mentales y son poseídas por la persona, y permiten ser sujeto de actividades no ligadas directamente a órgano: los conocimientos intelectuales y las decisiones libres. Este último nivel de control es control intrínseco final, que integra lo cognitivo, lo emocional y lo vegetativo, y que se ejerce sobre las estructuras psíquicas.

Las facultades que lo ejercen (inteligencia, capacidad de amar) no son orgánicas. La manifestación más clara es que crecen por hábitos; son abiertas con una apertura indefinida, infinita en cuanto no limitada por el órgano. Están en lo que suele llamarse libertad (o espíritu). Obviamente, el pensamiento humano no es localizable neurológicamente, pero opera siempre sobre fenómenos psíquicos: sobre el contenido de los fenómenos psíquicos que sí tienen mediación fisiológica. De hecho nunca se piensa “en seco”, siempre se piensa algo, se quiere algo, se desea algo etc., y ese “algo” estuvo antes, de otro modo, en las otras facultades. Es lo que tradicionalmente se afirma con la sentencia de que nada hay en el intelecto que no haya estado antes en los sentidos

En resumen, la respuesta a los estímulos y las decisiones suponen siempre en el hombre una regulación de la dinámica funcional de carácter jerárquico que libera a las estructuras psíquicas del sometimiento al funcionamiento cerebral. El frenado, por inhibición en él hace que los componentes del sistema sincronicen en el tiempo los circuitos que han de integrarse y permite que actúen parcialmente e integrándose en una unidad que es la respuesta y la decisión.

Desde el punto de vista de las localizaciones, el órgano de las facultades cognoscitivas es una parte de la corteza cerebral cuya conexión funcional unitaria es el término de las excitaciones que vienen desde fuera de los sentidos, y desde dentro. La precisión del funcionamiento conjunto integrado y unitario requiere no dejar que cada uno de los componentes funcione por entero: esto sería automatismo. Marca una dirección y, a la vez, una jerarquía a la que se subordinan otros circuitos.

6.2. *La inteligencia humana*

Afirma Polo que “como la inteligencia humana no es un sobrante formal no es propiamente una facultad”¹⁴. La inteligencia se manifiesta en el freno y regulación intrínseca, por inhibición, de las estructuras psíquicas. No emerge de ellas, sino que por el contrario permite que se liberen del automatismo biológico de la mera excitación neuronal. La facultad inteligencia específicamente humana libera de automatismo fisiológico sus propios circuitos neuronales, eliminando los límites de la determinación que, la misma estructura del órgano cerebro —madurado por cada uno— ejerce sobre las operaciones tanto sensitivas, como tendenciales o motoras.

A su vez la psique que emerge de la vida biográfica de cada persona no es determinante de la conducta. Por una parte, si la elaboración personal del órgano aporta una mayor o menor capacidad de “frenado” y eliminación de los automatismos, lo que emerge no está conducido estrictamente en una dirección determinada, sino por el sujeto. La facultad inteligencia eleva, potencia, abre, indetermina la capacidad operativa del cerebro respecto del fin biológico del viviente, y a su vez se determina, se decide respecto de sí mismo.

La facultad inteligencia que libera de automatismo es poseída por la persona. La vida personal potencia, refuerza o añade un plus de potencialidad, que le permite ser sujeto de actividades no ligadas directamente a órgano: los conocimientos intelectuales y las decisiones libres. Las facultades propias del hombre están en un sobrante formal no sometido a condiciones materiales, aquello que suele llamarse espíritu o libertad. La inteligencia es una manifestación de la libertad.

6.3. *Las respuestas y las decisiones no son determinantes*

Una última cuestión es si somos libres, o no, de seguir la respuesta a los estímulos y las decisiones tomadas por el control final jerárquico. El hombre es muy impredecible en sus respuestas y aparentemente decide de modo diferente ante situaciones que aparentemente son idénticas. La base biológica de esta indeterminación e imprevisibilidad —libertad—, puede entenderse desde la perspectiva del funcionamiento *caótico* del cerebro de cada uno.

En efecto, el procesamiento de información de los circuitos neuronales es complejo, en el sentido propio de la palabra complejo. El flujo informativo (potenciales de membrana, señales químicas, etc.) está permanentemente

14. *Curso de teoría del conocimiento*, IV/ 1ª Parte, Pamplona, Eunsa, 1994, 311.



en funcionamiento, y recibiendo nueva información. Y este funcionamiento tiene el dinamismo propio de los sistemas caóticos. El funcionamiento del cerebro es un funcionamiento indeterminado, impredecible (inestable, dinámico, de infinitas dimensiones, complejo en sí mismo), y enormemente sensible a un cambio de las condiciones iniciales. La expresión “¡párate y piensa!” es de una gran coherencia: lo que permite pensar es la inhibición de los circuitos más automáticos. Más aún, el frenado –voluntario– supone introducir *personalmente* un cambio de las condiciones iniciales del flujo de información neuronal.

Podemos decir que la respuesta, una vez decidida, no es ya regulable: la ejecución tiene el automatismo de la excitación. Pero, la rotura del automatismo en la confección de la respuesta (lo que la hace impredecible o no-determinista) es el cambio mínimo de las condiciones en la integración jerárquica.

7. Modelo neurobiológico del sistema de control cognitivo jerárquico

Las técnicas de neuroimagen funcional están permitiendo a los investigadores analizar cómo unas áreas cerebrales se activan y otras se silencian cuando se recibe un estímulo visual, auditivo, etc. Los estudios muestran el correlato neural de la emoción que el reconocimiento auditivo o visual de personas en diversas circunstancias, por ejemplo, provocan en el sujeto. Todas las áreas de la corteza cerebral que se activan en tales casos corresponden a zonas neurales que realizan procesamientos cognitivo-emocionales. En estos procesos de integración, el sistema límbico aúna activaciones y desactivaciones sincrónicas de sus componentes.

Se destacan dos regiones de alta conectabilidad. El área orbitofrontal (OFC) ligada a funciones que tienen que ver con información interior del organismo, es decir, memoria a largo plazo, afectos, sentimientos, etc. Desempeña un papel determinante en la integración neurobiológica de los sistemas de recompensa, ya que conecta con las neuronas que producen dopamina, sustancia crucial para valorar el carácter de recompensa de los estímulos.

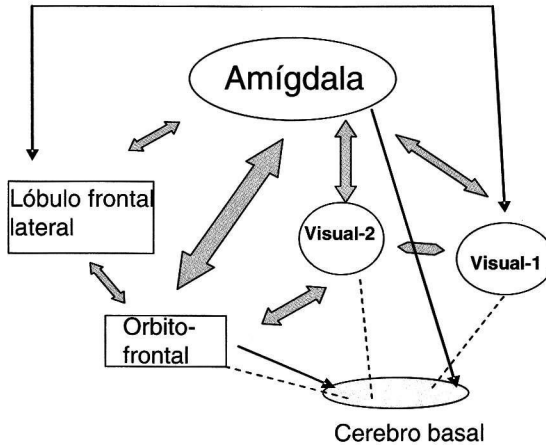
El complejo amigdalino, la amígdala cerebral, es otro punto nodal como área de un alto grado de capacidad de conexión. Ocupa una posición central en el mapa topológico conectando con las áreas de análisis de la corteza y con otras áreas subcorticales.

En las relaciones interpersonales el cerebro emplea un mecanismo de acercamiento que acorta distancias por desactivar las emociones negativas y

al tiempo implicar los sistemas de recompensa. Los datos actuales ponen de manifiesto que la noción de potencia formal permite, tal cómo propone Leonardo Polo, una teorización de la neurobiología capaz de dar cuenta de la relación cerebro-mente del hombre sin dualismos ni reduccionismos.

7.1. *La integración del complejo amigdalino con la corteza orbitofrontal permite evaluar la información sensorial*

Como se muestra en el esquema siguiente, el componente afectivo de un estímulo visual se procesa en una serie de integraciones desde las áreas visuales a los prefrontales. Tanto las áreas prefrontales como la amígdala cerebral tienen fuertes y recíprocas conexiones con las áreas sensoriales y visuales y reciben desde ellas el estímulo altamente procesado, “purificado”. El complejo amigdalino conecta con las áreas de la corteza visual primaria y las cortezas prefrontal (PFC) y lateral (LPFC) recibe proyecciones de la última área visual. El sistema basal del cerebro (donde se localizan las vías de recompensa, ligadas a la dopamina) aporta señales neuromoduladoras a ambas áreas de forma difusa.



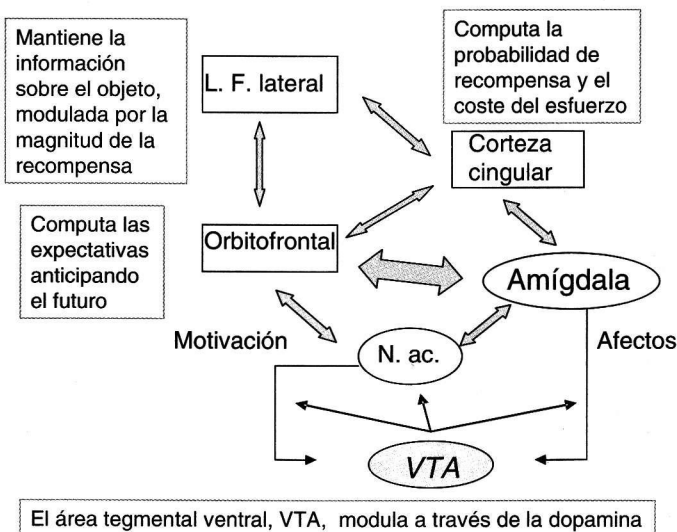
La sincronización capacita para dotar el estímulo visual de significado. Tal sincronización genera el estado mental, o psíquico, de percepción afectiva de lo visto; un estado en que la información está contextualizada. La modulación emotiva de la información visual, que procesa el complejo amigdalino, va sincronizado al efecto de atención; el aumento del significado afectivo del estímulo, dependiente de la amígdala cerebral, tiene un efecto similar al aumento de atención. De esta forma la atención a un estímulo (un proceso cognitivo) potencia la actividad en la corteza sensorial y el re-

sultado, el significado afectivo de lo visto, refleja el control jerárquico desde la región lateral prefrontal (LPFC) y la modulación de la amígdala cerebral. En el comportamiento que se siga al estímulo será por tanto cognitivo y emocional.

7.2. La elaboración de la respuesta en relación con los demás, el circuito del control ejecutivo, es de naturaleza cognitiva-afectiva

La respuesta al estímulo requiere motivación: que la acción se presente con capacidad de obtención de recompensa, o rechazo de castigo. La motivación se asocia la activación por dopamina de diversas áreas cognitivas, afectivas y motoras.

Diversos estudios de neuroimagen están permitiendo conocer, como se muestra en el esquema siguiente, la integración unitaria de áreas de alta conectabilidad cognitivas y afectivas, en la elaboración de la respuesta a un estímulo. El área lateral prefrontal (LPFC) se activa con los estímulos externos visuales, táctiles y olfativos y su inhibición es crítica para mantener y modular la información. Además su inhibición capacita para detectar conflictos y ejercer operaciones de control cognitivo que regulan el flujo de información durante las situaciones no rutinarias. Es decir, no sólo recoge y mantiene la información acerca de un objeto, sino que integra la magnitud de la recompensa. La asociación de la información exterior con la interior es importante para la toma de decisiones, inhibiendo todos aquellos estímulos que puedan perturbarla, es decir, los estímulos irrelevantes. Actúa como un centro de comunicación, capaz de guiar la acción, al sopesar.



La participación en el circuito de control del complejo amigdalino, la región OFC y el núcleo accumbens (que recibe dopamina y aporta motivación al sistema motor) muestra que las estrategias de acción incorporan en el dinamismo la evaluación afectiva. La amígdala cerebral conecta con las áreas de análisis de la corteza y con otras áreas subcorticales, como el área ventral tegmental (VTA) cuyas neuronas segregan dopamina.

La región anterior de la corteza cingulada (ACC) se activa en la evaluación del modo de comportarse y en las respuestas afectivas en la relación con los demás. Su función incluye la detección de conflictos. Las neuronas ACC procesan la probabilidad de recompensa y al mismo tiempo evalúan el coste de esfuerzo de la acción.

Nos encontramos por tanto con la integración de varios circuitos, cada uno de ellos integran neuronas de diversas áreas permitiendo estados mentales:

1. Los circuitos del cerebro basal ascendentes hacia la corteza reciben a su vez estímulo de la amígdala cerebral y la corteza. Este círculo aporta sustratos para la integración cognitiva-emocional

2. Control de la atención: la región LPFC, corteza parietal y ACC guían la conducta para mantenerla en el tiempo y procesar la información en relación con la meta que se propone.

3. Incorporación de la evaluación afectiva, para contar con el coste y beneficio de la meta y la acción: complejo amigdalino, OFC y núcleo accumbens. La OFC realiza el cómputo de las expectativas, anticipando el futuro que extiende a la amígdala cerebral. Discrimina entre diferentes tipos de respuesta.

4. De gran importancia es la predicción de expectativas de recompensa en el futuro y predicción de errores. El lóbulo frontal es crítico en la tarea de simulación de procesos que requiere la predicción de futuro¹⁵. De hecho se conoce que pacientes con daño en la corteza cerebral están encerrados en el presente, al igual que los niños hasta los 3 o 4 años de edad en que madura esta región.

La simulación de la situación de futuro es una tarea que supone dominio del tiempo, para preexperimentar el futuro. La neuroimagen muestra la participación de la corteza prefrontal y la del lóbulo temporal medial en la prospección. La simulación de la situación placentera en el futuro activa estruc-

15. Cfr. D. T. GILBERT – T. D. WILSON, “Prospection: Experiencing the Future”, *Science*, 2007 (317), 1351-1354.

turas subcorticales, el estriado, y la simulación de la tristeza de un acontecimiento futuro requiere además la activación de la amígdala cerebral derecha. Esta integración permite a la corteza prefrontal “presentir” la magnitud de placer que pueda llevar consigo un evento futuro.

Lógicamente una simulación no tiene la riqueza y realismo de una percepción sensorial; la memoria es más viva de lo experimentado en el pasado más cercano, selecciona de forma abreviada y descontextualizada la situación y el momento del futuro. Comete errores en la previsión del futuro y en definitiva nos permite navegar en el tiempo y ver más allá que ningún otro viviente.

7.3. *La liberación del automatismo en las elecciones y decisiones*

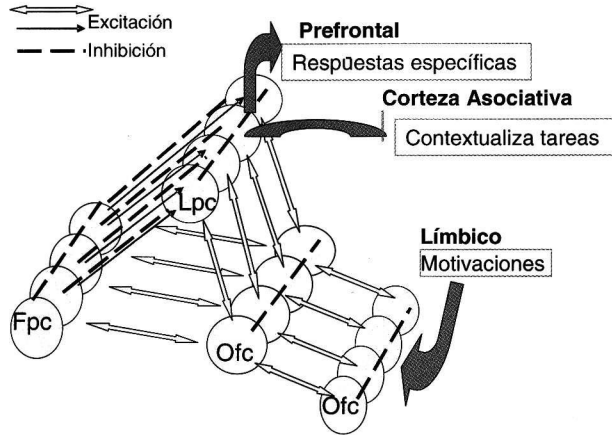
La vida humana consiste en una constante toma de decisiones y elecciones, que van de lo cotidiano a las que conllevan consecuencias elevadas. El ser humano tiene esa única habilidad de reprocesar alternativas y elegir la óptima. Este tipo de información altamente procesada subyace a la abstracción más intensa que requiere el pensamiento. Existe para ello un amplísimo circuito de control cognitivo-afectivo que opera en la cúspide de la jerarquía cerebral, que permite rechazar o aceptar la respuesta procesada emotiva y cognitivamente¹⁶.

Este control final implica inhibición o frenado de instintos y del sistema límbico en general, de forma que cancele acciones intencionales. La función inhibidora de la corteza prefrontal evita la confusión que produciría la inmensa cantidad de estímulos que el cerebro puede recibir. Sin ella se produciría la liberación de funciones, que normalmente están inhibidas.

Etienne Koechlin and Alexandre Hyafil¹⁷ proponen el modelo neurocomputacional de esta función de la corteza frontal, que se muestra en el esquema. Según estos autores tres tipos de neuronas interactúan entre sí de forma excitadora e inhibidora: la población de neuronas de la región lateral (LPC), las de la orbitofrontal (OFC) y de una región más frontopolar (FPC), o anterior de esta área cortical.

16. Cfr. A. G. SANFEY, “Social Decision-Making: Insights from Game Theory and Neuroscience”, *Science*, 2007 (318), 259-262.

17. E. KOECHLIN – A. HYAFIL, “Anterior Prefrontal Function and the Limits of Human Decision Making”, *Science*, 2007 (318), 594-598.



1. La inhibición fuerte entre las conexiones neuronales entre LPC y FPC refuerza la selección de respuestas mientras que la autoexcitación facilita que se mantenga el grupo de tareas en ausencia de estímulos externos.

2. Una débil inhibición y autoexcitación entre las neuronas de OFC, las capacita para mantener las expectativas de recompensa que conllevan las respuestas mantenidas en LPC y FPC.

3. OFC recibe y almacena los valores esperables de recompensa asociados a las respuestas en relación con señales de estímulos externos o del contexto interno. Las conexiones neuronales entre LPC y OFC que reciben a su vez señales de regiones asociativas y límbicas dirigen la respuesta hacia donde hay expectativa de recompensa futura. Y de acuerdo con estas expectativas FPC se convierte en un almacén que detiene las respuestas seleccionadas en LPC mientras que en LPC se tantea o evalúa de nuevo otra respuesta. La amortiguación en FCP posibilita que queden pendientes otras tareas y LPC vuelva a evaluar en ausencia de nuevos estímulos. Así, la respuesta inicialmente seleccionada puede ser rechazada si baja su expectativa de recompensa y es reemplazada por otra.

Es de interés destacar que la inhibición, el frenado del flujo de información, es la clave de que la respuesta, o la decisión, no esté estrictamente determinada en la dinámica del proceso neural. La secuenciación de la elección y la ordenación en el tiempo de la ejecución de las tareas, rompe el automatismo de los procesos neurales. La capacidad humana de dilatar en el tiempo tanto la satisfacción instintiva como seguramente toda clase de satisfacciones permite la liberación del automatismo. Sabido es que el ser humano puede incluso ofrecer toda su vida en aras de una recompensa. Esto presupone una capacidad de anticipación considerable, y la anticipación está también ligada a la función inhibitoria de la jerarquía del cerebro.



Lo que subyace a la toma de decisiones es la liberación del automatismo de la dinámica de los flujos de información cognitiva y emocional justamente por la capacidad de frenado.

Natalia López Moratalla
Catedrática de Bioquímica y Biología Molecular
Universidad de Navarra
e.mail: natalialm@unav.es