EL CEREBRO SINTIENTE

Ariel

les pone en contacto con hembras receptivas, no realizan las referidas respuestas instrumentales para ganar acceso a ellas, es decir, se trata del efecto opuesto al de las lesiones del área preóptica (Everitt, 1990). Se cree así que la amígdala y otras estructuras límbicas (en los primates, probablemente la corteza orbitofrontal y la parte anterior de la circunvolución del cíngulo) integren la información sensorial actual con el recuerdo de experiencias previas para la generación del apetito sexual. Mecanismos similares se han propuesto para otras conductas motivadas, como las de ingesta. Los neurotransmisores que se utilizarían en la amígdala o por las proyecciones que envía esta estructura para la realización de dichas funciones están poco documentados.

3.3.1.3. Estriado ventral

Otra región cerebral que aparece muy implicada en estos fenómenos es la zona ventral del cuerpo estriado, especialmente el núcleo accumbens. Recibe aferencias límbicas, sobre todo de la amígdala y el hipocampo y se proyecta, con relevos en el pálido ventral y tálamo, a la corteza prefrontal y cingular. Está inervado también por fibras monoaminérgicas procedentes del tronco cerebral, entre las que destacan las dopaminérgicas originadas en el área tegmental ventral. En la actualidad se atribuye al núcleo accumbens un papel de «interfaz» entre los sistemas límbico y motor, esencial para la producción de respuestas conductuales adecuadas a los estados emocionales, adscribiéndosele a su inervación dopaminérgica una importante función moduladora de dichos procesos. Por ejemplo, se cree que representa un lugar de acción primordial de los fármacos antipsicóticos, la mayoría de los cuales son antagonistas dopaminérgicos y suelen tener efectos inhibitorios sobre la conducta sexual.

Por lo que respecta a la conducta sexual, y en consonancia con lo anterior, se ha encontrado que las lesiones con neurotoxinas de la inervación dopaminérgica del núcleo accumbens en ratas macho disminuyen su actividad copulatoria con hembras hipoactivas (aunque no se muestran una elevada proceptividad). Por otra parte, las inyecciones de anfetamina (que produce liberación de monoaminas) en esta estructura aumentan las respuestas instrumentales para acceder a una hembra y disminuyen las latencias de iniciación de la actividad copulatoria. Utilizando técnicas de registro neuroquímico en vivo se ha comprobado que la actividad copulato-

ria del macho se acompaña de una liberación sostenida de dopamina en esta región, de magnitud muy superior a la observada durante otras interacciones sociales (Mas et al., 1995). Estas observaciones se han extendido también a la hembra.

3.3.1.4. Hipotálamo medial

Se han identificado en diversas especies animales algunos núcleos hipotalámicos que parecen especialmente implicados en el funcionamiento sexual. Entre ellos destacan los núcleos ventromediales, cuya lesión suprime invariablemente el reflejo de lordosis de las hembras. Los núcleos paraventriculares del hipotálamo se reconocen como el origen de una vía espinopetal oxitocinérgica que desciende hasta los niveles toracolumbares y sacros de la médula transmitiendo señales facilitadoras de la erección del pene. Dicha proyección parece ser el lugar de acción para el efecto erectogénico de algunos agonistas dopaminérgicos de uso clínico en el tratamiento de la disfunción eréctil, como la apomorfina.

3.3.1.5. Tronco cerebral

A nivel del tronco cerebral se han identificado diversas regiones como los núcleos del rafe, el área tegmental ventral, la sustancia gris periacueductal, el locus coeruleus y el núcleo paragigantocelular, cuya lesión o estimulación modifican los reflejos espinales eréctiles y eyaculatorios y otros aspectos del funcionamiento sexual. Por otra parte, algunos de estos núcleos del tronco cerebral, como el locus coeruleus y los núcleos del rafe superiores, envían también largas fibras ascendentes que inervan el hipotálamo y área preóptica, áreas límbicas, núcleo accumbens y corteza cerebral. Utilizan importantes neurotransmisores (respectivamente noradrenalina y serotonina), de los que son la principal fuente que se encuentra en el cerebro. Estas neuronas monoaminérgicas centrales, o sus campos terminales sinápticos con los correspondientes receptores a sus neurotransmisores, son el blanco de numerosos fármacos psicotrópicos (por ejemplo, los antidepresivos). Muchos de ellos tienen importantes efectos, en su mayoría adversos, sobre el funcionamiento sexual.

3.3.2. Estudios en humanos

3.3.2.1. Efectos sexuales de lesiones cerebrales

Las disfunciones sexuales son frecuentes como secuela de lesiones cerebrales relativamente amplias de causa traumática, isquémica, tumoral o infecciosa, siendo las alteraciones del deseo las más comunes (Lundberg, 1992). Asimismo, en los enfermos de Parkinson de ambos sexos suele darse una disminución del deseo sexual, más acusada en las mujeres, y dificultades de la erección en los varones, independientes del grado de deterioro de la función motora (Wermuth y Stenager, 1995). Por el contrario, el tratamiento con l-DOPA (u otros agonistas dopaminérgicos) que se da habitualmente a estos pacientes induce en ocasiones una exacerbación del deseo sexual hasta extremos socialmente inconvenientes (Uitti et al., 1989).

La disminución del deseo es también frecuente tras lesiones relativamente circunscritas a la región hipotalámica (por tumores, o producidas quirúrgicamente), o en los raros casos de malformaciones congénitas del sistema olfatorio y del hipotálamo-septum, como el síndrome de Kallman. En estos casos suelen coexistir diversos grados de hipogonadismo que dificultan la diferenciación de las causas neurológicas y hormonales de dichos trastornos sexuales.

Los lóbulos temporales contienen varias estructuras límbicas, de las que, como la amígdala y la corteza piriforme, se sabe su implicación en la génesis de la motivación sexual. Por ello, no es infrecuente que en pacientes con epilepsia del lóbulo temporal se encuentren alteraciones del funcionamiento sexual (Lundberg, 1992; Daniele et al., 1997). La observación más corriente es la disminución del deseo sexual y/o dificultades en la excitación, con frecuentes trastornos de la erección en los varones. La eliminación quirúrgica del foco epiléptico, así como la extirpación de los lóbulos temporales pueden producir en ocasiones conductas hipersexuales socialmente inapropiadas (exhibicionismo, masturbación en público, sdicitación, etc.). Estas alteraciones se suelen comparar (Lilly et al., 1983) a las descritas por Klüver y Bucy (1939) en su muy citado, aunque metodológicamente discutible, estudio en monos a los que se extirparon ambos lóbulos temporales. Se cree que la hiperactividad sexual que caracteriza a dicho síndrome se deba a la desaparición de la acción inhibidora de la corteza piriforme.

A los lóbulos frontales se les ha atribuido también un control in-

hibitorio de la excitación sexual sugerido por el aumento de deseo o conducta desinhibida observada en ocasiones tras la lobotomía frontal y las lesiones de la corteza orbitofrontal (Freeman, 1973). Asimismo se han descrito casos de conducta hipersexual tras lesiones septales (Gorman y Cummings, 1992). También se han comunicado pérdidas importantes del interés sexual y de la capacidad eréctil tras realizar lesiones bilaterales del ansa lenticularis para aliviar trastornos motores (Meyers, 1962).

En una muy controvertida iniciativa, durante los años sesenta y setenta se practicaron en Alemania Occidental lesiones hipotalámicas mediante cirugía estereotáxica a delincuentes sexuales voluntarios para intentar reducir su conducta criminal (pedofilia y/o violación). Se realizaron lesiones unilaterales centradas por lo general en el núcleo ventromedial del hipotálamo. Tras las mismas se observó en la mayoría de los casos una reducción importante del deseo sexual (Dieckmann et al., 1988). Estos datos son difíciles de interpretar por varias razones. En animales de experimentación se necesitan lesiones bilaterales del hipotálamo para producir déficit en el comportamiento sexual. Por otra parte, el núcleo ventromedial del hipotálamo, como se ha mencionado arriba, parece implicado fundamentalmente, en lo que concierne a la conducta sexual, en la producción del reflejo de lordosis, que tiene escasa contrapartida en el humano. Es posible que en la elección de este núcleo contase el hecho de que la mayoría de los sujetos presentaban tendencias homosexuales, aunque, de nuevo, es difícil ver la conexión entre la tendencia homoerótica del varón y la conducta de lordosis de las hembras de los roedores.

3.3.2.2. Estimulación y registros de actividad eléctrica

Se han insertado electrodos en la profundidad del cerebro para tratar de aliviar, mediante estimulación eléctrica, diversos problemas como epilepsias, dolor intratable, o trastornos motores. Ocasionalmente se han descrito sensaciones sexuales asociadas a la estimulación de algunas áreas cerebrales. Las regiones cuya estimulación eléctrica se ha acompañado con mayor frecuencia de fenómenos sexuales son el septum (Heath, 1972), donde también se han obtenido altas tasas de autoestimulación, y la circunvolución cingular anterior. Las sensaciones descritas incluyen placer sexual y compulsión a masturbarse. La administración localizada en el sep-

tum de acetilcolina o noradrenalina a un hombre y una mujer que padecían de crisis psicomotoras se siguió de sensaciones sexuales placenteras y, en el caso de la mujer, de respuestas orgásmicas (Heath, 1972).

En este contexto se deben recordar los estudios de Paul MacLean (autor de la teoría del «cerebro triuno») sobre la inducción de erecciones mediante estimulación eléctrica cerebral en el mono ardilla (Saimiri sciureus). Las respuestas más efectivas se encontraron con los electrodos implantados en la circunvolución cingular anterior, región septo-preóptica medial, núcleos paraventriculares del hipotálamo, hipotálamo lateral y cuerpos mamilares (MacLean y Ploog, 1962).

En los pacientes con electrodos profundos implantados referidos arriba, Heath realizó también registros electroencefalográficos (EEG) en el curso de episodios de excitación sexual hasta el orgasmo. Durante esta fase se observaron espigas y ondas lentas en el septum, con cambios similares aunque menos acusados en la amígdala, núcleos talámicos y cerebelares (Heath, 1972).

Se han comunicado varios estudios de registro de EEG de superficie (con electrodos aplicados sobre el cuero cabelludo) en diversos sujetos durante la excitación sexual y/o el orgasmo. Sin embargo, los registros obtenidos en estas condiciones se ven con frecuencia enmascarados por artefactos de movimiento. Además, la capacidad de localización de esta técnica es muy escasa. No obstante, es interesante el hecho de que en varios estudios (por ejemplo, Cohen et al., 1985) se ha encontrado una asimetría derecha-izquierda en las derivaciones temporales, con mayor activación del hemisferio derecho, fenómeno que se discute más adelante.

3.3.2.3. Actividad metabólica cerebral

El desarrollo de técnicas de neuroimagen funcional, tales como la Tomografía de Emisión de Positrones (PET) y la Resonancia Magnética Funcional (FMR), además de su gran potencial en el diagnóstico de trastornos cerebrales, está permitiendo visualizar el grado de activación de áreas cerebrales de sujetos sanos en diversas situaciones experimentales. Hasta ahora se han empleado fundamentalmente en el análisis de funciones motoras, sensoriales y cognitivas. La información sobre patrones de activación de la corteza cerebral que han proporcionado es bas-

tante congruente con la ya conocida por procedimientos neurofisiológicos «clásicos», basados en el análisis de los efectos de lesiones localizadas y de registros de actividad eléctrica y de estimulación en áreas discretas. Así, la percepción de sonidos se acompaña de la activación de las llamadas áreas auditivas primarias y, según el grado de complejidad del estímulo, de las áreas de asociación correspondientes; la preparación a hablar se acompaña de activación del área de Broca, etc.

Aunque en menor medida, estas técnicas también se están aplicando al análisis de procesos emocionales, habiéndose documentado patrones diferenciales de activación cortical asociados a distintos tipos de emociones. Recientemente se han publicado algunos estudios enfocados en distintos aspectos de la RS. Los datos disponibles hasta el momento en este campo se han obtenido con la técnica de PET (positron emission tomography), o su variante SPECT (single photon emission computerized tomography) (tabla 4.2).

La PET se basa en la incorporación de un isótopo inestable capaz de emitir partículas β+ (positrones, con una masa igual al electrón pero con carga eléctrica positiva) en una molécula biológica, como agua (H_2O) o dióxido de carbono (CO_2), que se administra al sujeto en el momento de la prueba. Algunos de sus átomos estables O^{16} son sustituidos por O^{15}. Los positrones emitidos por el O^{15} reaccionan con electrones de los átomos vecinos con emisión de fotones γ que pueden ser cuantificados mediante detectores colocados alrededor del cráneo. El flujo sanguíneo de cada región cerebral (rCBF) está finamente regulado por la actividad metabólica de la misma, siendo probablemente el NO el mensajero químico más importante que media dicho acoplamiento. Cuando una zona del cerebro se activa, el rCBF local en la misma aumenta. En los estudios con PET, el contaje de desintegraciones obtenido en cada zona cerebral indica directamente su rCBF e indirectamente la activación del área. Los valores registrados en la situación experimental se comparan con una o varias situaciones de control.

Los datos disponibles hasta el momento sobre correlatos de neuroimagen funcional asociados a la emoción o la actividad sexuales se han obtenido de voluntarios sanos, tratándose en todos los casos de varones heterosexuales y diestros (tabla 4.2). El primer estudio publicado describió, mediante SPECT (usando HMPAO-Tc^{99} como indicador), los cambios de rCBF que ocurrían durante el orgasmo (Tiihonen et al., 1994). Se encontraron aumentos de rCBF en la corteza prefrontal derecha, correspondiéndose aproximadamente con el

TABLA 4.2. Cambios en el flujo sanguíneo de regiones cerebrales registrados mediante PET[2,3] o SPECT[1] en sujetos expuestos a diversas formas de estimulación sexual (voluntarios sanos, varones, heterosexuales, diestros)

Situación experimental	Región cerebral	Hemisferio	A. Brodmann
Orgasmo[1]			
Aumento:	„ córtex prefrontal	D	10
	„ tejidos extracraneales (piel, músculo)		
Disminución:	„ resto de córtex	(menor en I)	
Excitación[2] (e. audiovisual)			
Aumento:	„ g. temporal inferior	D	37
	„ g. temporal inferior	I	19
	„ g. frontal inferior	D	47
	„ g. cingular anterior	I	24, 32
	„ ínsula	D	
	„ cabeza n. caudado	D	
Disminución:	„ g. cingular medio	D	23
	„ g. frontal inferior	I	45, 46
	„ g. cingular posterior	I	31
Evocación de experiencia sexual placentera[3] (e. auditivo)	„ g. cingular anterior	D	32
Aumento:	„ polo temporal	I	38
	„ globus pallidus ventral	D I	
	„ claustro	D	40, 7
Disminución:	„ córtex parietal	D	8
	„ córtex prefrontal	I	37
	„ g. fusiforme		

NOTA: se observaron cambios muy similares cuando la experiencia placentera evocada fue un éxito deportivo.

1: Tiihonen et al., 1994; 2: Stoléru et al., 1999; 3: Rauch et al., 1999.

área citoarquitectónica de Brodmann 10 (aB10). Se describió, asimismo, una disminución generalizada de rCBF en el resto de la corteza. Se detectó también un aumento importante de flujo sanguíneo en tejidos extracraneales (piel y músculo) de ambos lados, particularmente en las regiones temporales. Es probable que este último fenómeno esté relacionado con las reacciones de enrojecimiento facial y cambios en la tensión muscular comentados en el apartado correspondiente a la descripción de la RS.

El estudio más completo publicado hasta el momento ha analizado, usando PET tras la administración intravenosa de O^{15}-H_2O,

los cambios de rCBF que acompañan a la excitación sexual (objetivada mediante registro de la erección del pene) inducida por una estimulación audiovisual erótica, comparándose con los observados durante la exposición a películas neutras y de humor (Stoléru et al., 1999). Los resultados muestran un patrón de activación complejo (tabla 4.2) predominante en áreas límbicas y paralímbicas y áreas temporales de asociación. Los fenómenos más sobresalientes fueron los siguientes: activación bilateral de la corteza temporal inferior (aB37, aB19, un área de asociación visual); activación de la ínsula y la circunvolución frontal inferior (aB47) derechas, áreas paralímbicas; activación de la corteza cingular anterior (aB32/aB24) izquierda, otra área paralímbica implicada en el control de las funciones autonómicas y neuroendocrinas.

La interpretación de estos resultados sugiere que la excitación sexual estimulada visualmente podría incorporar tres componentes coordinados de actividad cerebral: a) un componente perceptivo-cognitivo cuya función sería la de clasificar y evaluar los estímulos visuales como sexuales estaría representado por la activación bilateral de la corteza temporal inferior; b) un componente emotivo/motivacional, relacionado con la activación observada de la ínsula y la corteza frontal derechas, regiones que asociarían a las percepciones un contenido emotivo y motivacional, y c) un componente fisiológico (endocrino y autonómico) que podría reflejarse en la activación de la corteza cingular anterior izquierda.

Otro estudio con PET (administrando O^{15}-CO_2 en el aire inspirado) comparó la activación cerebral obtenida durante la evocación guiada (mediante cintas de audio) de episodios placenteros concretos de la biografía de los sujetos, de tipo sexual (encuentro con una amante) y competitivo (éxito deportivo) (Rauch et al., 1999). En ambos casos se encontraron cambios bastante similares, aunque no idénticos, con respecto a la situación control (tabla 4.2). Así, el rCBF aumentó en la corteza cingular anterior derecha, la corteza temporal anterior izquierda y el globus pallidum ventral derecho. Además, durante la evocación placentera sexual se detectaron aumentos en el claustro izquierdo que no ocurrieron en la evocación competitiva, mientras que en ésta se encontró un aumento en la circunvolución precentral izquierda (aB4) que no se vio en la sexual. Se observó, asimismo, una disminución del rCBF en áreas de asociación heteromodal de la corteza parietal (aB7, aB40) y prefrontal (aB8) del lado derecho, así como en el giro fusiforme (aB37) izquierdo. En la evocación de la experiencia com-

petitiva hubo disminuciones de rCBF en zonas más extensas en la corteza prefontal derecha, afectando a aB9, aB10 y aB45. Estos resultados sugieren que los estados emotivos de valencia positiva, incluida la gratificación sexual, se acompañen de un aumento de actividad en territorios paralímbicos anteriores y el globo pálido ventral, así como una disminución en amplias áreas corticales de asociación heteromodal. Proporcionan una información, preliminar pero sugestiva, sobre los correlatos cerebrales del placer.

Un hallazgo común de los tres estudios de neuroimagen funcional comentados es el de un importante grado de lateralización hemisférica de los cambios de rCBF asociados a la respuesta sexual. En general, se observan mayores aumentos (o menores disminuciones) en zonas del hemisferio derecho. Este fenómeno es congruente con los registros de EEG durante la RS, comentados arriba, que mostraban una mayor activación del hemisferio derecho (Cohen et al., 1985). También está en línea con diversas observaciones clínicas como las de la mayor prevalencia de dificultades sexuales en los pacientes con ictus unilateral en el hemisferio derecho (Coslett y Heilman, 1986) y en pacientes de ambos sexos con epilepsia del lóbulo temporal derecho (Daniele et al., 1997). Todo ello sugiere una dominancia del hemisferio derecho para la función sexual, lo que sería coherente con la idea generalmente aceptada de que dicho hemisferio está especialmente implicado en la percepción de estímulos emocionales y la expresión de respuestas afectivas.

4. Perspectivas futuras

Esta breve revisión de algunos aspectos de la neurobiología y endocrinología de la Respuesta Sexual Humana, apoyada en los datos más relevantes proporcionados por la investigación en animales de laboratorio, muestra ante todo lo mucho que nos queda por elucidar sobre los mecanismos cerebrales de la sexualidad.

Una de las principales carencias es la de modelos teóricos que den cuenta suficiente de las complejas interacciones de procesos neurales, hormonales, cognitivos, emotivos y sociales que subyacen a la expresión de la emoción y la conducta sexual en nuestra especie. Una interesante elaboración integradora es la propuesta por Fisher (1994, 1999). Sugiere la existencia en el cerebro de tres sistemas primarios de emoción, independientes aunque interrelacio-

nados, los de lujuria, atracción y apego. Cada uno de ellos habría evolucionado para dirigir un aspecto diferente de la reproducción de los mamíferos y aves y conlleva un repertorio conductual específico: a) el impulso sexual, libido o lujuria, caracterizado por un ansia por la gratificación sexual, estaría relacionado primariamente con los andrógenos (y en las hembras de muchas especies los estrógenos) y motivaría a los individuos a la unión sexual con cualquier pareja adecuada; b) el sistema de atracción (lo que en humanos se puede llamar «amor apasionado», «amor obsesivo» o encaprichamiento), centraría la atención en una pareja preferida. En humanos lleva también a buscar ávidamente la unión física y emocional con el «objeto específico del deseo» (una persona concreta); según la hipótesis, estaría relacionado con altos niveles cerebrales de dopamina y de noradrenalina y bajos de serotonina, y c) el sistema de apego se manifiesta en aves y mamíferos en la defensa del territorio, la construcción de nidos, alimentación y acicalamiento mutuos y otras conductas afiliativas. En humanos, el apego se caracteriza también por sentimientos de calma, seguridad y unión emocional. Estaría primariamente relacionado con neuropéptidos como la oxitocina, endorfinas y probablemente varios otros. Este sistema emotivo habría evolucionado para motivar a los individuos a mantener sus conexiones afiliativas durante un tiempo suficiente para completar los deberes parentales característicos de cada especie.

A lo largo de la evolución, junto a tales sistemas cerebrales para la lujuria, el amor romántico y el afiliativo habrían surgido gradualmente otros circuitos neurales que modulan las conductas dirigidas por aquéllos. Hay uno especialmente importante que permite a los humanos controlar sus tendencias sexuales socialmente inadecuadas o inconvenientes. Tal sistema radicaría en la corteza prefrontal, una parte del cerebro que se expandió espectacularmente durante la prehistoria humana hasta constituir un tercio de la corteza cerebral del humano actual y juega un papel preponderante en el análisis de información compleja y la organización temporal de la conducta, incluido el lenguaje (Fuster, 1989). Es plausible que esta nueva «superestructura», para muchos la «sede de la psique» o el «yo», tenga también un gran protagonismo en la planificación y organización de la conducta sexual, sobreponiéndose en gran medida a los «sistemas básicos» antedichos y permitiendo a cada uno de nosotros independizarnos relativamente de las fuerzas de la lujuria, la atracción y el apego (y el desapego).

Lo anterior hace especialmente relevantes los estudios descri-

tos arri ba sobre la acti vi dad meta bóli ca de la corte za cerebral en rela ción con la experien cia sexual hu mana, puesto que el pa pel en la misma de la corteza ce rebral sólo puede ser eva luado en to das sus im pli caciones estu dian do nuestra es pecie. Sin em bar go, los re-sul ta dos obte ni dos hasta aho ra me dian te técni cas de neuroi magen fun cional, por im pre sionan tes que re sul ten, pre sentan to davía im-portan tes li mi ta ciones in heren tes a la me to dología em plea da. Las técni cas uti li zadas hasta aho ra (PET y SPECT) son ade cuadas para el ma peo meta bóli co de la super fi cie del cerebro pero pier den efecti vi dad al in ten tar de tectar cam bios en estruc tu ras pro fun das. Además, su re solu ción espacial es to davía li mi ta da (varios mi lí me-tros). Como se ha visto en otros apartados, las regiones cerebrales más relevantes para la ex presión de la RS se encuentran a bas tan-te profundidad, en el centro y base del encéfalo, y son bas tante pe-queñas. Es probable, por tan to, que en di chos estudios ha yan esca-pado a la detección cambios im portan tes en la acti vi dad meta bóli ca de muchas áreas cerebrales. Es de esperar que la aplicación de nue-vas técni cas de neuroi magen fun cional con ma yor po der re solu ti vo, como la fMR, per mi ta obte ner en el fu tu ro pró xi mo una vi suali za-ción más fina de los cambios de actividad concomitantes a la Res-puesta Sexual Hu mana.

5. Referen cias bi blio grá fi cas

Bancroft, J. (1989): Human sexuality and its pro blems, 2.ª ed., Edim bur-go, Chur chill Li ving stone.

Cohen, A. S.; Rosen, R. C. y Goldstein, L. (1985): «EEG he mispheric asym -metry du ring se xual arou sal: psychoph ysiologi cal pat terns in res pon-sive, un responsive and dysfunc tio nal men», J. Abnormal Psychol., 94: 580-590.

Coslett, H. B. y Heilman, K. M. (1986): «Male se xual function. Impair-ment af ter right he misp here stro ke», Arch. Neurol., 43: 1036-1039.

Daniele, A.; Azzoni, A.; Biz zi, A. et al. (1997): «Sexual beha vior and he-mispheric la terality of the fo cus in patients with temporal lobe epi-lepsy», Biol. Psychiatry, 42: 617-624.

Davey Smith, G.; Frankel, S. y Yarnell, J. (1997): «Sex and death: are they re lated? Fin dings from the Caerphilly cohort study», Br. Med. J., 315: 1641-1644.

Dieckmann, G.; Schneider-Jonietz, B. y Schneider, H. (1988): «Psychia -tric and neu ropsychologi cal fin dings af ter ste reotaxic hypot hala mo-

tomy in ca ses of extre me sexual ag gressivity», Acta Neu rochir. Suppl. (Wien), 44: 163-166.
Everitt, B. J. (1990): «Se xual mo tivation: a neural and behavioural analysis of the me chanisms un derl ying ap peti ti ve and copu la tory res ponses of male rats», Neu roscience and Biobehavio ral Re views, 14, 217-232.
Fisher, H. E. (1994): Ana tomía del Amor, Bar celona, Ana grama.
„ (1999): «Lust, attraction, and at tachment: brain systems for love», en I. Gold stein (ed.), New Pers pecti ves in the Ma nagement of Fe male Sexual Dysfunc tion. Pro ceedings, Boston, Boston University School of Medi cine, pp. 22-23.
Fuster, J. M. (1989): The Pre fron tal Cor tex: Ana tomy, Physio logy, and Neuropsychology of the Frontal Lobe, 2.ª ed., Nue va York, Raven Press.
Johnson, M. H. y Eve ritt, B. J. (1995): Essen tial Re pro duction, 4.ª ed., Oxford, Blackwell Science, pp. 130-142.
Freeman, W. (1973): «Sexual beha vior and fertility af ter frontal lobotomy», Biol. Psychiat., 6: 97-104.
Gorman, D. G. y Cummings, J. L. (1992): «Hypersexuality fo llowing sep tal in jury», Arch. Neurol., 49: 308-310.
Gra ziot tin, A. (1998): «The bio logi cal basis of female sexua lity», Int. Clin. Psychophar macol., 13 (supl. 6): S15-S22.
Heath, R. G. (1972): «Pleasure and brain activity in man», J. Nervous Men tal Dis., 154: 3-18.
Kaplan, H. S. (1979): Di sorders of sexual de sire, Nue va York, Simon and Schuster.
Klüver, H. y Bucy, P. C. (1939): «Preliminary analysis of the tem poral lobe in monkeys», Arch. Neurol. Psychiatr., 42: 979-1000.
Levin, R. J. (1994): «Human male se xuality: ap petite and arousal, desire and drive», en C. Legg y D. Boot (eds.), Hu mam Appe ti te: Neu ral and Beha viou ral Ba ses, Oxford University Press, pp. 127-164.
Lilly, R.; Cum mings, J. L.; Ben son, D. F. y Frankel, M. (1983): «The hu man Klü ver-Bucy syndrome», Neu rology, 33: 1141-1145.
Lundberg, P. O. (1992): «Sexual dysfunction in patients with neurological di sorders», Annu. Rev. Sex Res., 3: 121-150.
MacLean, P. D. y Ploog, D. W. (1962): «Cerebral re presentation of pe nile erection», J. Neu roph ysiol., 25: 29-55.
Mas, M. (1995a): «Neu robiological corre lates of male sexual beha vior», Neu rosci. Bio behav. Rev., 19: 261-277.
„ (1995b): «The neurochemistry of se xual sa tiety», en J. Bancroft (ed.), The Pharmacology of Sexual Func tion and Dysfunction, Amster dam, Elsevier, pp. 115-126.
„ (1997): «Ba ses neuroendocri nas de la sexua li dad hu mana», en J. Botella-Llusiá y A. Fer nández de Molina (eds.), La evolución de la sexuali dad y los esta dos inter sexua les, Ma drid, Díaz de Santos, pp. 177-200.
„ (1999a): «Se xua li dad y hor monas», en S. Pala cios (ed.), Cerebro y mujer, Ma drid, Health & Research Consulting, pp. 83-90.

„ (1999b): «La ex perien cia emocional de la se xuali dad: una pers pecti va psicofi siológica», Arbor, 152 (640): 451-471.
„ (1999c): «Fi siología sexual», en J. A. F. Tres guerres et al. (eds.), Fi - siología hu mana, 2.ª ed., Ma drid, McGraw Hill-Inte ra meri cana, pp. 1148-1158.
„ (2000): «Neu rofi siología de la res puesta sexual hu mana», en J. Bobes, S. Dexeus y J. Gibert (eds.): Psi cofár macos y función sexual, Ma drid, Díaz de Santos, pp. 1-15.
Mas, M.; Fumero, B. y González-Mora, J. L. (1995): «Voltammetric and mi crodialy sis moni toring of brain mo noami ne neurotrans mit ter re- lease during so ciosexual in teractions», Behav. Brain Res., 71: 69-79.
Masters, M. W. y Johnson, V. E. (1966): Hu man sexual res ponse, Boston, Little, Brown & Co.
Miller, B.; Cum mings, J. L. y McIntyre et al. (1986): «Hyper sexua lity or al tered sexual pre feren ce follo wing brain in jury», J. Neu rol. Neu ro- surg. Psychiat., 49: 867-893.
Meyers, R. (1962): «Three cases of myoclonus alleviated by bilateral an so- tomy, with a note on pos toperati ve ali bido and im poten ce», J. Neuro- sur gery, 19: 71-81.
Rauch, S. L.; Shin, L. M. y Doug herty, D. D. et al. (1999): «Neural ac tiva- tion during se xual and com petitive arousal in healthy men», Psychiat. Res. Neuroi maging, 91: 1-10.
Schultz, W. W.; Van Andel, P.; Sa belis, I. y Moo yart, E. (1999): «Mag netic resonan ce imaging of male and fe male geni tals du ring coi tus and fe- male sexual arou sal», Br. Med. J., 319: 1596-1600.
Sherwin, B. B. (1988): A comparative analysis of the role of androgen in hu man male and fe male sexual beha vior: beha vioral spe cifi city, cri ti- cal thres holds, and sen siti vity», Psycho biology, 16: 416-425.
Stoléru, S.; Grégoire, M.-C. y Gérard, D. et al. (1999): «Neu roanatomi cal corre lates of vi sually evo ked sexual arou sal in hu man ma les», Arch. Sexual Behav., 28: 1-21.
Tiihonen, J.; Kuik ka, J. y Ku pila, J. et al. (1994): «Increase in blood flow of right prefrontal cortex in man during or gasm», Neurosci. Lett., 170: 241-243.
Uitti, R. J.; Tanner, C. M. y Raj put, A. H. et al. (1989): «Hyper sexua lity with an ti par kin sonian the rapy», Clin. Neu rophar macol., 12: 375-383.
Wermuth, L. y Ste nager, E. (1995): «Sexual pro blems in young pa tients with Par kin son•s disease», Acta Neurol. Scand., 91: 453-455.

CAPÍTULO 5

LOS SIGNIFICADOS DEL JUEGO: UNA PERSPECTIVA EVOLUTIVA

por J. L INAZA

1. La dificultad de definir el juego. — 2. Características del juego. — 3. La explicación funcional del juego. — 4. El juego en las distintas especies. — 5. Los juegos sociales: jugar a luchar; 5.1. Experimentos frente a observaciones: el punto de vista del observador y el punto de vista del observado. — 6. Referencias bibliográficas.

1. La dificultad de definir el juego

El juego es un concepto escurridizo. Si nos fijamos en un juego como el que realiza un grupo de niñas con sus muñecas nos parecerá que tiene poco que ver con lo que se nos ocurre al pensar en uno de mesa, como el parchís, o en un deporte como el fútbol. ¿Se trata entonces de una especie de espejismo, de un parecido que sólo está en la palabra con la que designamos actividades que, en el fondo, no tendrían nada en común?

Algunos psicólogos y biólogos llegan a esa conclusión y consideran que no se puede estudiar científicamente el juego, porque no es posible encontrar rasgos o características comunes a conductas tan diversas como el golpear del sonajero de un bebé y la partida de ajedrez de dos adultos. Lo que tienen en común no son los aspectos externos, los movimientos o conducta que estudiaba el conductismo, sino propiedades internas que hay que deducir a partir de otras

más externas. Son características psicológicas las que comparten los diferentes juegos.

En algunos experimentos se ha demostrado la facilidad con la que cualquier observador, sin especial entrenamiento, puede distinguir comportamientos de juego de otros que no sean de juego. Y somos capaces de esta distinción, no sólo respecto a los juegos de los niños, sino a los de otras especies, como los perros, los gatos, los monos, etc. Para poder realizar esa distinción nos basamos en una serie de propiedades o de características que percibimos en los sujetos que juegan, aunque no seamos capaces de expresarlas verbalmente. Se trata, por tanto, de un conocimiento implícito que diferentes investigadores se han esforzado por hacer explícito. Es decir, identificar las características o elementos comunes de juegos muy diversos que nos permiten distinguir lo que es juego de lo que no lo es.

2. Características del juego

Éstas son las características que sintetizando las propuestas por diferentes autores (Piaget, 1947; Bruner, 1975; etc.) hemos propuesto en diversas ocasiones (Linaza, 1997; Linaza y Maldonado, 1987):

1. El juego es espontáneo. Se trata de una actividad libre, no condicionada por refuerzos o acontecimientos externos. Por el contrario, las conductas que son «serias» están condicionadas por las propiedades de la realidad externa a la que tratan de adaptarse. Esa especie de carácter «gratuito», independiente de las circunstancias exteriores, constituye un rasgo sobresaliente del juego. Su contrapartida en el organismo es que el juego produce placer por sí mismo, independientemente de metas u objetivos externos que no se marca. Éste sería su segundo rasgo.
2. El juego produce placer. Frente a las conductas «serias», que sólo cabe evaluar en función del logro de la meta propuesta, las conductas lúdicas se convierten en metas de sí mismas. Desde los planteamientos de Freud, en los que los símbolos expresados en el juego alcanzan una función equivalente a la que tienen los sueños en relación con los deseos inconscientes de los sujetos adultos, este carácter gratificador y placentero del juego ha sido reconocido por diferentes autores. Piaget y Vigotsky, con matices diferentes, seña-

lan la satisfacción de deseos inmediatos que se da en el juego, o el origen de éste precisamente en esas necesidades, no satisfechas, de acciones que desbordan la capacidad del niño.

3. El juego puede diferenciarse de los comportamientos serios con los que se relaciona. El juego tiene un modo de organizar las acciones que es propio y específico. La estructura de las conductas «serias» se diferencia en algunos casos de la de las conductas de juego por la ausencia de alguno de los elementos que exhibirá la conducta seria. Pensemos en las diferencias entre las conductas lúdicas de peleas en diferentes especies de mamíferos y las propiamente agresivas; en el caso de los perros, por ejemplo, detectaremos enseguida la ausencia del pelo erizado, de la cola erguida, de la posición del belfo mostrando los dientes, del mordisco poderoso y firme en el curso de la intercación, etc.

En otros casos, las diferencias aparecen por la presencia de elementos que son caraterísticos del juego. Por ejemplo, la cara de juego de los chimpancés, esa especie de sonrisa-mueca que avisa a quien va dirigida que todo lo que sigue es juego. En el caso anterior de los perros, el movimiento de la cola transmitiría un mensaje análogo.

4. En el juego predominan las acciones sobre los objetivos de las mismas. En el juego lo importante son los medios, no los fines. Es uno de los rasgos más aceptados como definitorios de la conducta de juego, su desconexión con otro fin o meta que no sea la propia acción lúdica. Mientras las llamadas conductas «serias» constituyen un medio para lograr un objetivo determinado, el juego consiste en una acción vuelta sobre sí misma que obtiene satisfacción en su misma ejecución. En el desarrollo individual, el juego no puede aparecer más que en la medida en la que se manifiesta también la inteligencia o la adaptación «seria». En la medida en que el mundo exterior se convierte en meta de nuestras acciones, en objetivo de manipulación y conocimiento, las acciones son «instrumentos» para lograr esos resultados exteriores.

Pero el juego aparece entonces como paradójico. Lo es, precisamente, porque no resulta fácil identificar la satisfacción extrínseca que los organismos jóvenes podrían obtener del juego, las ventajas que en el curso de la selección natural habría supuesto la capacidad para jugar.

Sin embargo, recordemos que también en la explicación del desarrollo intelectual, de la motivación que subyace a la continua información que procesa un sujeto humano mientras aprende, se ha

propuesto como explicación que comprender mejor el medio en el que se desenvuelven constituye una tarea autorreforzante para los individuos.

5. El juego es una actitud ante la realidad y ante nuestro propio comportamiento. Se trata, en efecto, de una actividad que sólo cabe definir desde el propio organismo inmerso en ella. Es observable, posible de identificar desde fuera, susceptible de análisis científico. Sin embargo, su carácter lúdico viene determinado desde el sujeto que juega, no desde el observador que lo analiza.

Quizá como consecuencia de todas las características mencionadas anteriormente, el juego es un modo de interactuar con la realidad que viene determinado por factores internos de quien juega y no por las condiciones y las circunstancias de la realidad externa. Esta última puede, indudablemente, modular e influir en el juego, pero éste se define más como una actitud ante la realidad del propio jugador.

3. La explicación funcional del juego

Una de las primeras teorías para explicar el juego fue la propuesta por K. Groos (1898, 1901), llamada también del preejercicio. En ella se concibe el juego como un modo de ejercitar o practicar los instintos antes de que éstos estén completamente desarrollados. Esta formulación convierte la teoría de Groos en un antecesor de los enfoques funcionalistas de los actuales etólogos. Ambos se inspiran, efectivamente, en la obra de Darwin para suponer que si los organismos juegan debe ser porque de ello se deriva alguna ventaja en la lucha por la supervivencia. Groos encuentra esa ventaja en la práctica de los instintos. Y, por ello, a la hora de clasificar los diferentes juegos acudirá a las actividades adultas de las que considera que cada uno de ellos es un predecesor.

Criticada la teoría del instinto en la que se basaba su explicación del juego, el enfoque funcionalista de Groos se perpetúa en los modernos trabajos etológicos. Conviene señalar la paradoja que la conducta lúdica entraña para este enfoque, cuyo énfasis se sitúa en la relación entre conducta y medio. La explicación de los aprendizajes serios de cada especie se hace en función de su relevancia para la supervivencia y ello plantea la peculiaridad de las conductas de

juego, puesto que éste se define como comportamiento «irrelevante», centrado en las acciones mismas y no en objetivos externos.

Una estrategia seguida consistirá en estudiar posibles funciones que no son percibidas a primera vista. A la pregunta de ¿para qué sirve el juego?, los diferentes autores responden con diferentes ejercicios, o prácticas anticipadas, de las más diversas habilidades. El procedimiento puede consistir en su primir experimentalmente el tipo de juego de que se trate „por ejemplo, el juego con la madre o con los iguales en los experimentos sobre sistemas afectivos en los macacos de Harlow„, o en observar las consecuencias de su ausencia en condiciones naturales „como los chimpancés huérfanos descritos por Lawick-Goodall, que no llegan a dominar las técnicas de pescar termitas con un palo humedecido.

La otra estrategia consiste en identificar las conductas de juego precisamente por comparación de sus elementos y de su organización con los de aquellos comportamientos llamados serios. Por ejemplo, el juego de lucha vendrá determinado por:

a) La presencia de elementos que no están presentes en las luchas reales, como la llamada cara de juego.
b) La ausencia de elementos que sí están presentes en una lucha real, como el tipo de mordisco.
c) La combinación de elementos en un orden distinto del que aparece en la conducta seria.

Una vez definida aquella conducta que llamamos juego, los estudios suelen tratar de verificar su presencia en individuos de diferentes especies, distintas edades, sexo, estatus, etc. Cuando este enfoque se ha llevado al estudio del juego infantil humano (Blurton-Jones, 1967; Smith, 1982) se han mantenido también ambas estrategias. En los estudios experimentales se trata de proporcionar cierta experiencia (o ausencia de ella) y ver cómo ello influye en comportamientos ulteriores. En los más descriptivos se identifican previamente las categorías a estudiar. Y aquí, el avance tecnológico que ha supuesto el vídeo permite posponer su descripción a una fase posterior a la de observación, en la que se identifica su presencia en diferentes medios (físicos o culturales), en grupos de distinta edad, sexo, etc.

Este modo de plantear el estudio del juego permite establecer una cierta continuidad entre comportamientos lúdicos de los primates no humanos y los humanos, no sólo respecto a la forma adop-

tada por ese juego «rudo y desordenado», sino por las diferencias que en él se observan entre jugadores de diferente sexo.

Esta misma continuidad entre especies lleva a algunos de quienes adoptan este enfoque a prescindir de cualquier otra información que no sean los etogramas motores cuidadosamente definidos. El énfasis en las bases biológicas de estos juegos lleva a entender como puro epifenómeno todo lo demás. Así, por ejemplo, Aldis (1975) analiza diversos juegos infantiles, entre ellos los de la «liga» o el «pilla-pilla», juegos de persecución en los que un niño corre detrás de otros hasta alcanzar a uno de ellos y tocarle con la mano, momento en el que se produce una inversión de papeles y quien perseguía se transforma en perseguido y viceversa. Al referirse a ellos, Aldis afirma que:

> La explicación más simple es que tal inversión de papeles es decretada por las reglas del juego; en otras palabras, que constituye un fenómeno cultural. Pero esto no puede ser una explicación completa porque la inversión de papeles es universal en el juego de persecución de todos los animales... Lo único que indica es que el juego de la liga, y con él la inversión de papeles, tiene una base innata, aun que muchas formas culturales distintas se han añadido a ella (Aldis, 1975, p. 212).

La cita sirve de ejemplo para ilustrar cómo el esfuerzo por encontrar universales, en las formas de juego de especies distintas, conduce a algunos autores a minusvalorar la importancia de otras variables y factores presentes en ese mismo juego.

No prescindir de informaciones tan valiosas como las que proporcionan los propios sujetos sobre aquello que están haciendo, sobre el modo en que se representan la situación, etc., no impide valorar las técnicas de observación incorporadas desde la etología, las descripciones de pautas lúdicas, y las posibles funciones del juego en otras especies, etc.

4. El juego en las distintas especies

Frecuentemente se atribuye a comportamientos como la inteligencia, o el lenguaje, las diferencias más importantes entre los humanos y otras especies. En las últimas décadas se ha popularizado la investigación de lo que se viene denominando teoría de la mente, la capacidad para atribuir a otros seres humanos procesos mentales no directamente perceptibles y para atribuir a dichos procesos una

relación causal con determinados comportamientos. La idea de agente, que distingue a cualquier ser vivo, se complementa con esta capacidad para procesar las intenciones, los deseos, las creencias, etcétera, que desencadenan los correspondientes comportamientos.

La mayor parte de propia investigación se refiere al juego en humanos y, al reflexionar sobre este fenómeno, puede que este hecho introduzca sesgos. Por ello es importante recordar que, como sucede en el caso de la inteligencia, su manifestación en nuestra especie es el producto de un largo proceso de evdución filogenética. En realidad, una de las teorías más aceptadas en la explicación de los fenómenos lúdicos, la del psicólogo suizo Jean Piaget, vincula las diferentes categorías o formas de juego a las transformaciones que se producen en las estructuras de conocimiento de los seres humanos a lo largo de la infancia.

Desde esta perspectiva el juego es un modo peculiar de adaptación a la realidad especialmente característico de aquellas especies que disponen de una larga infancia (véase Piaget, 1947; Bruner, 1972; Fagen, 1981). Conviene señalar una analogía y una diferencia entre juego y adaptación inteligente en la terminología de Piaget. Ambos tipos de comportamientos están autotivados y son reforzantes. Conocer o jugar resultan satisfactorios por ellos mismos, no requieren de refuerzos externos para que aparezcan. Sin embargo, así como la adaptación inteligente tiene una meta hacia la que va dirigida su actuación y, una vez alcanzada la misma, finaliza la acción encaminada a ella, en el caso del juego, la acción no persigue una meta externa sino que se convierte ella misma en el objetivo y de ahí su reiteración. El carácter placentero y repetitivo serán algunos de los elementos que muy diversos autores introducen en la definición de juego.

Resulta muy sorprendente comprobar cómo, a lo largo de todo un siglo, diferentes investigadores, intrigados por la complejidad del fenómeno, se tropiezan una y otra vez con la dificultad de su definición previa. Pero, puesto que el consenso entre observadores es grande a la hora de identificar comportamientos lúdicos, una posibilidad es suspender temporalmente dicha definición utilizando una tautología: juego es lo que los estudiosos del fenómeno califican de tal. (En realidad, no sería muy diferente de la definición tautológica que de la inteligencia proporcionan los tests como instrumentos diseñados para medirla.) Una consecuencia de esta dificultad para definir el juego es que tampoco resulta fácil explicar su valor biológico y adaptativo. Por ejemplo, otro fenómeno que frecuente-

mente encuentra dificultades para estas definiciones previas a su estudio es el de la agresión. Sin embargo, nuestras ideas espontáneas sobre los comportamientos agresivos vinculan éstos a la defensa del territorio, al acceso a la comida o a la pareja, a la defensa de las crías, etc. En cualquiera de estos casos puede entenderse la ventaja biológica que se derivaría de un comportamiento agresivo. En el caso del juego no sucede así. Resulta difícil establecer las ventajas adaptativas de esta incapacidad de adaptación de los sujetos inmaduros. Lo que Bruner llamó el síndrome de inmadurez. En las últimas décadas estamos asistiendo a un cierto replanteamiento de las capacidades que han permitido a la especie humana acumular los conocimientos a lo largo del tiempo, es decir, crear la cultura y hacer uso de ella para adaptarse al medio. En el interesante trabajo de Bruner (1972) se señalaban todo un conjunto de modificaciones morfológicas, funcionales y comportamentales, que iban desde pequeñas transformaciones en los huesos de la mano que permiten la utilización de herramientas, el desarrollo cortical que subyace a las nuevas capacidades lingüísticas y cognitivas, hasta la complejidad y sutileza de la sintonización en las interacciones sociales tempranas adulto-niño. El juego aparecía ya en este trabajo como uno de los grandes logros de la humanidad en la medida que permitía un período de prueba y aprendizaje simulados, sin las consecuencias que en situaciones serias, no lúdicas, podría tener el ser incompetente.

En estas últimas décadas ha cobrado importancia creciente lo que denominamos cognición social (véase, por ejemplo, Turiel, Enesco y Linaza, 1985). Y, en estas reflexiones sobre las transformaciones que nos convierten en humanos, destacan especialmente aquellas que tienen que ver con el acceso a procesos psicológicos de los otros y a su influencia en la conducta externa. Por ejemplo los que se conocen como teoría de la mente (Leslie, 1987). Si Piaget se apoyó en los descubrimientos de Köhler para describir unas estructuras intelectuales en los niños pequeños que desbordaban cualquier reducción a la suma de condicionamientos (lo que en aquellos años se denominó el aprendizaje repentino o insight), en estos últimos años hemos utilizado la teoría piagetiana para describir la complejidad del desarrollo intelectual de los primates no humanos, como gorilas o chimpancés, y descubrir que buena parte de su esfuerzo intelectual no va dirigido a la manipulación y control de objetos físicos sino a la regulación de unas relaciones sociales mucho más complejas de lo que habíamos supuesto (Gómez Crespo, 1990).

Al avan ce en la descrip ción y compren sión del comportamien to en medios natu ra les, como los reali zados por Jane Van Godall o Dia na Fosey, han segui do en para lelo in teresantí simos experi mentos en laboratorios y en contextos de crian za muy ale jados de los caracterís ti cos de estas especies. En mu chos casos son cortextos e interacciones de crian za muy semejan tes a los que caracteri zan el desarrollo de los seres humanos y, por ello, se ha bla de un proceso de «humani zación».

M. To masello, di rector del re ción creado Insti tu to Max Planck de Antro pología Evolu ti va, afir ma que la cla ve de la adapta ción hu mana es esta capacidad que nos permite en tender a otros in dividuos como agentes intencionales, en el mismo sentido en el que nos percibimos a nosotros mismos como ta les.

Los logros que como especie hemos conseguido en el conocimiento y domi nio del mun do exter no consti tu yen el pun to de referen cia para en tender la in teli gencia hu mana como esa capacidad para actuar efi cazmente sobre él. Una re presenta ción pro gresivamente más compleja de esa reali dad exter na y de nuestras pro pias acciones al in teractuar con ella se rían los lo gros en el desarro llo in telectual que describe una teo ría como la piagetiana. Muchas de las versiones cogni ti vas o de procesamien to de la in formación elabora das en las úl timas décadas compar ten esta vi sión ins tru mental, me dios para lograr fi nes, que permi te valorar su efi cacia y ventaja adapta ti va. En esta perspecti va, comenzando ya con las pri meras teorías sobre el juego, como la de Groos (1905), la manipulación lú dica de objetos se puede conver tir en una ex perien cia adi cional que, aun que no pro porcione ventaja in media ta al or ganismo in maduro, la ejer cita, pue de suponer la a lar go plazo para el in di vi duo adul to. Con esta ló gica se plan tearon in vesti gaciones diversas a prin cipios de los seten ta tratando de evaluar los efectos del jue go en el desarrollo. Una de las primeras di fi cul ta des consistió en di feren ciar lo que era jue go de las conductas de explora ción. El tra bajo de Susana Mi llar re sume buena parte de aquellos es fuerzos. Bruner, Sylva y Jolly (1975) reunieron tam bién una im presionan te colección de investigaciones sobre el tema. En una de ellas, realizada por Sylva y Bruner, se uti lizó una situa ción parecida a la que ori ginal mente per mi tió a Köhler des cribir el apren di zaje súbi to, o in sight, en los chim pancés. Sylva y Bru - ner compro baron que la ex plora ción lú di ca de los diferen tes objetos con los que poder construir una caña más lar ga permitía a niños preescola res obtener más éxi to en una ta rea de pescar objetos fuera del alcance de sus manos que a aquellos otros com pañeros que te-

nían la oportunidad de ob servar un mo delo o de manipular sin juego esos mismos elementos.

En esta posible ventaja adap ta ti va del jue go con objetos, que sin duda es muy fre cuente en los primates, aparece también en otras especies como los carnívoros. Sin em bar go, com para do con el juego social al que nos referiremos a continuación, el juego con ob je- tos es poco frecuente en muchas especies de mamíferos (Fa gen, 1981; Smith, 1984). Esto no implica que, aunque es casa, la explora- ción lú di ca del entor no fí sico no pueda te ner con secuencias im por- tan tes para los in di vi duos adul tos. Inspi ra dos en las in vesti gacio- nes que tra taban de evaluar la importancia de la ex periencia tem- prana en el de sarrollo, diseñamos un es pacio muy amplio en el De- partamento de Psicología de Oxford, en el que criamos ratas de la- bora torio (hooded) en condi ciones muy di feren tes a las ha bitua les. Además de man tener jun tas a va rias ca madas desde el na cimien to, di señamos pla ta for mas, to boganes, tu bos, etc., por los que pudie- ran des plazarse. Comparadas de adultas con otras criadas en con- di ciones habi tua les de labora torio, en jau las in di vi dua les, lo que en aquellos años denomi nábamos un me dio en ri quecido (en reali dad se trataba de un me dio un poco menos deprivado del ha bitual en los labora torios) con vertía a los ani males cria dos en él en in di vi duos mucho más activos en el campo abierto o en ruedas de ac tividad, más efi caces en los aprendi zajes de discri mi nación en la berin tos y más resistentes a la ex tinción de di chos aprendizajes una vez ad- qui ri dos (Li naza, 1974).

Pero, como se ñalá bamos ante rior men te, el jue go con objetos es mucho menos frecuente en los ma míferos que el juego social o de in- teracción. Sin duda, en los humanos hay dos grandes categorías de juego de in teracción que re presentan un alto por cen taje de nuestra actividad lúdica: los juegos de ficción y los juegos de reglas. Los úl- ti mos, in cluyendo juegos de mesa y de portes, consti tu yen un im- por tan te capítu lo de cual quier cul tu ra hu mana y son prac ti cados no sólo por niños sino por adultos. Entre las diversas funciones psi- cológi cas que cumplen estas acti vi dades cabe des ta car la se ñala da por Piaget (1932): los ni ños aprenden jugando a practicar las reglas coordinando sus acciones con las de otros ju gadores, pero, además, descubren que estas re glas, base del fun ciona mien to de cual quier sociedad humana, no son más que el re sultado de los acuerdos en- tre ellos.

Sin em bargo, estas dos grandes categorías de juegos, de fic ción y de reglas, son de aparición tar día en el ser humano. Sólo a par tir

del segundo año de vida puede el niño diferenciar entre lo que es ficción y lo que no lo es. Los guiones, que sirven para estructurar y dar sentido a las acciones e interacciones en las que los niños pequeños fingen ser personajes distintos de ellos mismos, van creciendo en complejidad y diversidad a lo largo de los siguientes años y siguen inspirando juegos infantiles cuando ya pueden participar también en los juegos de reglas. Las representaciones compartidas que suponen los guiones (como el que inspira el juego de las mamás, o de las tiendas) y las reglas requieren de estructuras intelectuales como el símbolo o la operación mental, que son características exclusivamente de los humanos.

En otras especies de mamíferos, el juego social es también la manifestación lúdica más frecuente.

5. Los juegos sociales: jugar a luchar

Mencionábamos antes la dificultad de definir con precisión las formas de juego y los debates sobre la posibilidad de distinguir entre juego y otras conductas no lúdicas como las de exploración. Los juegos sociales, y especialmente los juegos de lucha (play fighting), son los más frecuentes, los que mejor identificamos los observadores humanos y en los que mayor concordancia se produce entre jueces cuando se les pide categorizar el comportamiento observado. Más del 80 % de los estudios empíricos sobre juego en especies diferentes de los primates versan sobre estos juegos de lucha. Muchos de ellos siguen lo que podríamos llamar «modelo biológico» de estudio y explicación del juego. Identificadas las conductas que definimos como juego, el estudio consiste en establecer relaciones entre la frecuencia y duración de estos comportamientos y las diferentes variables cuya manipulación es objeto del estudio (niveles hormonales, desarrollo del organismo, sexo, actividad de diferentes estructuras del sistema nervioso, etc.).

Un primer problema con la definición es que los juegos de interacción social, como el de lucha, requiere no sólo que uno de los organismos ataque sino que el otro se defienda. Sin esta segunda respuesta, el ataque lúdico quedará convertido en una iniciación del juego sin éxito. Para que llegue a convertirse en tal requiere una respuesta igualmente lúdica del compañero de juego, contraatacar. Uno de los problemas recurrentes de toda investigación sobre juego es que el contenido emocional de estos comportamientos

hay que inferirlo de índices externos. En el caso de los humanos disponemos de la ventaja enorme del lenguaje para poder preguntar por el sentido o significado que ese juego de lucha tiene para los niños. Pero en éstos, como en otras especies, el carácter agonista de estos comportamientos puede cambiar en el curso mismo de la interacción. En cuanto uno de los participantes sufra dolor más allá del nivel tolerable, o malinterprete el sentido del ataque, el juego de lucha se convierte en ocasiones en lucha real.

5.1. Experimentos frente a observaciones: el punto de vista del observador y el punto de vista del observado

Comenzaremos por comentar la permanente tensión en ciencias como la etología o la psicología entre control de la situación observada y validez de lo que se observa. El avance en el conocimiento requiere con frecuencia la fragmentación de lo que se observa, la descomposición en elementos o unidades, etc. En el modelo que hemos llamado «biológico» algunas de las preguntas formuladas requieren una cierta restricción del movimiento del animal observado, la implantación de registros que proporcionen información sobre determinadas estructuras nerviosas mientras juegan, la supresión de otras para comprobar el efecto de su ausencia, etcétera. Nuestros conocimientos sobre el sistema nervioso han ido incrementándose en la medida en que nuevas tecnologías permitían observaciones sobre su funcionamiento en condiciones menos restringidas, respetando su integridad y acercando las situaciones de laboratorio a las de la vida real. Como ocurre con otros comportamientos sociales, las luchas o el sexo, el avance en estas tecnologías para registrar la actividad de estructuras del sistema nervioso permitirá conocer mejor su papel en determinados comportamientos, lúdicos o no lúdicos. Aunque identifiquemos y describamos mejor la actividad de los sistemas biológicos que hacen posibles estos comportamientos, nuestro modelo explicativo deberá seguir incorporando este otro nivel comportamental en el que, para que se den fenómenos como el juego, es necesaria la presencia de otro compañero que lo provoque o lo desencadene.

Una de las grandes aportaciones de la etología ha sido la de reivindicar la observación como método y el medio natural como contexto en el que interpretar el comportamiento. Comparando con los innumerables experimentos realizados por los psicólogos en labo-

ratorios du rante la primera mitad de este si glo, es evidente que el avan ce ha sido nota ble. Pero la ob servación re quie re iden ti fi car de modo claro y unívoco aquello que se está estudiando. En este sentido, el juego muestra una cierta pe culiaridad respecto a otros com - portamientos no lú dicos con los que, en ocasiones, se confunde y de los que, en otras, es mero precursor. Otra de las apor taciones de la etología es haber comen zado a desentra ñar la com pleji dad de la comu ni cación entre los in di vi duos de una mis ma especie y el papel clave que jue gan deter mi nados com porta mien tos en esa co mu ni cación. Pero la señal puede serlo para quien la percibe sin que constitu ya en abso lu to un ob jeti vo explí cito para quien la emi te. Los cazadores son hábi les in tér pre tes de señales que, ni mu cho menos, son envia das por sus presas. Encontramos aquí un primer nivel de diferen cias entre quien ob serva la señal y quien es ob servado. Pero hay señales que parecen serlo en el ple no sentido del tér mino, enviadas con un objeti vo preciso para su correc ta in ter preta ción. Y luego hay señales que determinan cómo interpretar otras que le si - guen. Nos adentramos con ello en el complejo ám bito de la comunicación que, desde nuestro punto de vista, ha transformado la psicología actual. Pero tam bién en el estu dio del com porta mien to animal está te nien do profun das consecuencias. Bateson ya comenta ba la im portan cia de deter mi nados com porta mien tos que condi cionan el significado de to dos aquellos que le siguen. La sonrisa del chimpancé o el movimiento del rabo en los cá nidos serían ejem plos de estas metaseña les. Sin em bar go, el signi fi cado (o la in ten ción) de un com porta mien to deter mi nado sólo puede esta blecerlo el pro pio in di vi duo que lo ejecuta. Por ejem plo, cuan do nos referi mos a un ser humano diríamos que for ma parte de su condición de agente. Tra tar de aden trar se en el signi fi cado o la in ten cionali dad de una acción (o de una in teracción) para otro constituye una de las me tas de una dis ciplina como la psi cología y, en la vida co tidiana, uno de los requi sitos de la in ter subjeti vi dad que nos per mi te actuar como humanos. El estu dio de la comu ni cación y de su desarro llo on togenéti co y filogenéti co consti tu ye hoy un área de enor me acti vi dad en la psicología. Por ello, el es tudio de fe nómenos como la atención conjun ta (Scaife y Bru ner, 1975), la fic ción compar ti da (Leslie, 1987) o la teoría de la mente (Premack, 1981; Leslie, 1987) han puesto en el pri mer pla no de la in vesti gación psi cológica la re levancia de las in teracciones sociales en el pro pio desarro llo cogni ti vo.

En el caso de otros mamíferos, el juego so cial, el juego de lucha, requie re tam bién de una coor di nación y de una ela bora ción respec-

to a lo que esos ataques y contraataques significan. Cualquiera de los dos participantes tiene siempre la opción, en el momento en el que cambian las condiciones por la virulencia, por la presencia de otro individuo, etc., de transformarlo en ataque real o en cesar en la continuanancia de turnos de ataque y defensa. Evidentemente, no se trata de antropomorfizar y atribuir a otras especies el significado y los mecanismos de coordinación que se dan en el juego entre humanos. Pero tampoco cabe negar la complejidad que esta dimensión social introduce en lo que hemos llamado modelo biológico de estudio del juego. Los comportamientos lúdicos se definen siempre en relación a otros no lúdicos y de ahí la dificultad de su identificación, la ambigüedad de algunos de ellos y la posibilidad de desplazamiento de unos a otros. Para algunos autores, estos comportamientos lúdicos no son más que la ejecución inmadura de los no lúdicos. Por ejemplo, en las interacciones sociales amistosas, que muchos identifican con formas de juego social, algunos autores prefieren descartarlas como juego e identificarlas como conducta sexual inmadura. Las aproximaciones e intentos de monta no serían propiamente lúdicos sino comportamientos inmaduros e ineficaces.

El problema radica en que cuando hablamos de un comportamiento como el juego de lucha sabemos que en los mismos individuos en los que se está manifestando es posible un comportamiento agresivo y no lúdico.

Por ejemplo, para autores como Pellis y Pellis (1998) hay dos grandes grupos de conductas no lúdicas con las que se relaciona el juego social: las conductas de agresión y las conductas amistosas. Cuando describimos el juego de lucha, los ataques lúdicos van dirigidos a las mismas partes del cuerpo a las que van dirigidos los comportamientos serios. Las agresivas pueden ser de peleas o de depredación y, en función de ello y de las pautas características de cada especie, las conductas de juego se dirigen a las mismas partes del cuerpo del compañero de juego a quien irían dirigidas si fueran no lúdicas. Y lo mismo sucede con las conductas amistosas cuyo equivalente no lúdico serían los comportamientos sexuales. Las respuestas a los ataques y el continuo cambio de roles son algunas de las características que muchos autores mencionan como definitorias del juego de lucha (Aldis, 1981; Bekoff, 1995; Fagen, 1981). Las variaciones en alguna de ellas coincide con la disminución o desaparición del juego. Por ejemplo, en el comienzo de la pubertad en las ratas los contraataques son menos frecuentes como respuesta

al ataque lúdico inicial y, consecuentemente, la probabilidad de que desemboque en una verdadera lucha se incrementa notablemente. De hecho, con la excepción de los humanos, en todas las especies el juego comienza a decaer con el inicio de la pubertad. Especialmente en el caso de los machos, el juego de lucha se hace más rudo y termina convirtiéndose en lucha real.

Pellis y Pellis (1998), utilizando la comparación de conductas de juego en diferentes especies de roedores, valoran la posible universalidad de las características descritas en cada especie y su posible generalización. Quizá es pronto para proponer, como pretenden ellos, modelos de juego muy universales. Para quienes hemos observado pautas de juego en ratas, perros, gorilas y humanos son evidentes las enormes variaciones que esa conducta muestra de una a otra especie. Pero desde la perspectiva de un psicólogo evolutivo tiene particular interés el contraste entre dos modelos de explicación. En el que llamamos «biológico», la conducta de juego es elicitada o desencadenada por la presencia de determinados elementos, entre ellos el comportamiento del compañero. En un modelo más «psicológico», la conducta de juego es solicitada por el compañero de juego mediante una comunicación, señal o mensaje. Para muchos autores (Aldis, 1981; Wilson y Keiman, 1982; Poole, 1985; etc.), las señales que indican de modo específico el significado lúdico de un comportamiento son epifenómenos. Primero porque no están presentes en todas las especies que juegan (aunque el hecho de no haberlas identificado aún no permite asegurar que no existan de modo definitivo) y segundo, porque incluso en aquellas especies que las utilizan, no lo hacen siempre y de modo sistemático. Por ejemplo, la boca abierta, que tanto el chimpancé como otros primates y carnívoros exhiben en el contexto de juego, se considera que no es propiamente señal de juego, puesto que no siempre aparece en el contexto de juegos de lucha y porque en muchos casos precede al comportamiento de morder (aunque éste sea también lúdico tanto por la presión ejercida como por la forma). La lógica de tales autores es que para aceptar esos comportamientos como señales deberían estar presentes siempre que se produce juego. De lo contrario, argumentan, es una espúrea correlación entre ambos fenómenos que permite descartar el carácter necesario de la comunicación para que se dé el juego.

Bekoff, que ha estudiado el problema de las señales lúdicas en el caso de los cánidos, considera que éstas resultan necesarias cuando cabe la posibilidad de que las acciones de uno o de ambos

compañeros de juego resulten ambiguas para el otro. Las aproximaciones trotando y las detenciones bruscas, las rotaciones o retorcimientos del cuerpo, o la mencionada boca abierta, son todas posibles señales de juego en diferentes especies. No cabe la menor duda que los humanos solicitamos jugar y lo mismo puede afirmarse de los primates no humanos, aunque la complejidad y diversidad de nuestros juegos respectivos difieran notablemente. En la evolución filogenética, elicitar y solicitar no sólo no tienen por qué ser excluyentes sino que deberíamos tratar de explicar el camino que conduce desde el primero al segundo. Es probable que en roedores como las ratas, algunas de las supuestas señales, como los saltos, no sean sino epifenómenos. Pellis et al. (1998) aseguran que el elemento desencadenante no es el salto sino el contacto con la nuca del compañero lo que provoca el inicio de un comportamiento lúdico de lucha. Para ellos, no hay que excluir la posibilidad de que estos elementos, y otros como determinadas vocalizaciones, sean manifestaciones de estados motivacionales más generales, que buscan el contacto físico con los congéneres, y no serían señales específicas de juego.

Si las manifestaciones lúdicas de lo que en la literatura se llama juego de lucha pueden relacionarse con otras conductas serias como lucha real, depredación, contacto sexual o conductas amistosas, el uso de una etiqueta como la de jugar a luchar no es muy adecuado. Una alternativa sería la utilizada para describir el juego de lucha en los primates, juego rudo y desordenado (rough and tumble play), utilizada originalmente por Harlow y popularizada por los etólogos en su aplicación a humanos (Blurton-Jones, 1967; Smith, 1981). Éste es el juego por antonomasia de los primates no humanos y se compone de dos fases bien diferenciadas: persecución y contacto físico. En ambas tiene que establecerse una coordinación entre las acciones de perseguidor y perseguido, o entre las de atacante y defensor. Ambos papeles son reversibles y es esta reversibilidad una de las características del juego (Gómez Crespo, 1990).

Sin duda, de la comparación entre el juego de lucha de diferentes especies podremos obtener una cierta descripción de cómo ha evolucionado filogenéticamente esta capacidad lúdica que, en los primates, se vuelve extraordinariamente omnipresente. Cuanto más complejo es el comportamiento social que deben adquirir los miembros adultos de la especie, mayor ventaja adaptativa tendrá el poder ensayarlo sin consecuencias dramáticas (Fagen, 1981). Pero cuanto mayor sea la relevancia del juego en este desarrollo, mayor ventaja supondrá el no tener que esperar pasivamente a que

se produzca la situación, o el conjunto de factores que lo eliciten o desencadenen, y poder solicitarlo o provocarlo de manera explícita.

Por último, cabe especular con que el juego inducido responde a pautas de adaptación garantizadas por mecanismos biológicos. El juego sdicitado permite formas de adaptación que varían en función de características y circunstancias específicas de cada individuo y de las interacciones sociales que inicia o en las que se involucra. El modelo «biológico» podría describir y explicar el juego inducido, pero para hacer lo mismo con el juego sdicitado necesitamos un modelo más «social» en el que la acción de otro organismo y la coordinación de ambos tengan entidad propia.

6. Referencias bibliográficas

Aldis, O. (1975): Play Fighting, Nueva York, Academic Press.

Bekoff, M. y Byers, J. A. (eds.) (1999): Animal Play. Evolutionary, comparative and ecological perspectives, Cambridge, Cambridge University Press.

Blurton-Jones, N. G. (1967): «An Ethological study of some aspects of social behaviour of children in nursery schools», en D. Morris (ed.), Primate Ethology, Londres, Weidenfeld and Nicolson.

Bruner J. (1972): «Nature and Uses of Immaturity», American Psychologist, 27: 1-22. (Versión cast. en J. Linaza [comp.], Acción, pensamiento y lenguaje: escritos de J. Bruner, Madrid, Alianza Psicología, 1984.)

Churcher, J. y Scaife, M. (1982): «How Infants see the point», en G. Butterworth y P. Light (eds.), The individual and the social in cognitive development, Hassocks, Sussex, Harvester Press.

Fagen, R. (1981): Animal play behavior, Nueva York, Oxford University Press.

Gómez Crespo, J. C. (1990): «El desarrollo del juego en gorilas», tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid.

Groos, K. (1898): The play of animals, Nueva York, Appleton.

„ (1901): The play of Man, Nueva York, Appleton.

Leslie, A. (1987): «Pretense and representation: The origins of a Theory of Mind», Psychological Review.

Linaza, J. y Maldonado, A. (1987): Los juegos y el deporte en el desarrollo psicológico del niño, Barcelona, Anthropos.

Nelson, K. y Seidman, S. (1989): «El desarrollo del conocimiento social: jugando con guiones», en E. Turiel, I. Enesco y J. Linaza (comps.), El mundo social en la mente infantil, Madrid, Alianza Psicología.

Pellis, S. M. y Pellis, V. C. (1998): «Play fighting of rats in comparative perspective: a schema for neurobehavioral analyses», Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 23: 87-101.

Piaget, J. (1932): El jui cio moral en el niño, ver sión cast., Bar celona, Fontanella.
„ (1946): La formación del sím bolo en el niño, versión cast., Mé xico, Fondo de Cultu ra Económi co.
„ (1966): «Response to Sutton-Sm ith», Psychological Review, 73: 111-112.
Poole, T. B. (1985): Social behaviour in mammals, Glasgow, Blackie.
Premack (1981): Does chimpazee have a theory of mind?
Smith, P. K. (1982): «Does play mat ter? Functional and evolutionary aspects of ani mal and hu man play», The Behavioral and Brain Sciences, 5, 1: 139-184.
„ (1984): Play in animals and man, Oxford, Blackwells.
Turiel, E.; Enesco, I. y Linaza, J. (comps.) (1985): El mun do social en la mente in fantil, Ma drid, Alian za Psicología.
Wil son y Kei man (1982): «Eli citing Play: a com para ti ve study», Ameri can Zoology, 14: 341-370.

CAPÍTULO 6

CEREBRO DISMINUIDO: EL VALOR DE LA EMOCIÓN Y LA MOTIVACIÓN

por JESÚS FLÓREZ y MARA DIERSSEN

1. Introducción. — 2. Bases moleculares del aprendizaje. — 3. Factores emocionales y motivacionales: Mecanismos de interacción y de compensación. — 4. Los procesos operativos emocionales y motivacionales. — 5. Conclusión. — 6. Referencias bibliográficas.

1. Introducción

Probablemente todos estamos de acuerdo en que el cerebro alberga y aglutina el mundo de nuestra conducta, el mundo de nuestra cognición, el mundo de nuestros sentimientos y el mundo de nuestra actividad ejecutiva. Aunque de manera todavía dubitativa, vamos asignando en él lugares que participan de manera preferente en lo mental, en lo conductual o en lo afectivo. Pero de modo recurrente siempre hay alguien que nos recuerda que la conciencia es una, y que no es posible mantener nuestra mente incontaminada e inmune a nuestra trama afectiva.

Esto es cierto; pero es posible apreciar disociaciones entre estos mundos que el propio pueblo llano sanciona. «Tiene su sensibilidad a flor de piel» nos sugiere que la persona expresa su mundo afectivo con cierta desmesura. «Tiene el corazón duro como una piedra» (cuando el corazón se nos hacía fuente de afectos) reprocha el comportamiento que aparentemente regatea sentimientos. Hay ojos que brillan ante el reto de una difícil tarea o de

una decisión compleja; y hay ojos que vibran ante la secuencia inimaginable y jamás pensada de sonidos que surgen de una garganta privilegiada. Nuestro cerebro humano da mucho de sí, ciertamente, pero el de cada uno de nosotros, con su biografía a cuestas „la suya propia y la de sus antepasados„ acota, se inclina por, se siente más cómodo en, se muestra más proclive hacia, es decir, selecciona. Carácter y temperamento terminan por definirse. Las influencias genéticas y epigenéticas van construyendo los hilos invisibles que acaban enmarcándonos y sujetándonos.

Nos invitan a introducirnos en el cerebro disminuido. Y lo primero que nos preguntamos es: «¿Disminuido en qué?» Quizá lo que procediera ahora fuese empezar a romper estereotipos, desmontar todo el tinglado levantado sobre el cimiento de barro del coeficiente intelectual, y empezar a hablar de capacidades selectivas, de facultades concretas para la adaptación, de competencias precisas en áreas bien acotadas.

Pero es evidente que hay seres humanos que poseen limitaciones en su capacidad intelectual, en un grado que les hace correr el riesgo de quedarse inermes a la vera de nuestros caminos. Puede ser vacilante el fluir de su pensamiento; puede estar entumecido su poder de reflexión; puede sentirse confusa su capacidad de absorber y relacionar la información que le inunda. Y sin embargo sigue siendo él, sí-mismo, quien en definitiva decide, ejecuta, hace o deshace, expresa de una manera inexplicable su propio coto de libertad; porque toda acción es consecuencia de una decisión personal. Ello se hace aún más evidente en esta época en la que la corriente educativa trata de conseguir que las personas posean grados crecientes de autonomía, de capacidad de decisión y de responsabilidad personal sin la cual la autonomía sería una idea vacua.

2. Bases moleculares del aprendizaje

Uno de los hallazgos más decisivos en la moderna neurobiología es la constatación de que las señales evocadas en las neuronas por estímulos externos provocan modificaciones en sus vías de transducción que llegan a penetrar en el núcleo neuronal; de este modo, tales estímulos poseen la capacidad de desencadenar modificaciones sustanciales en la expresión de los genes de la neurona, que llegan a ser de largo alcance tanto en magnitud como en dura-

ción. La riqueza de receptores capaces de captar esas señales externas y la abundancia de caminos metabólicos intracelulares que se entrecruzan, confluyen y divergen añaden un grado más de complejidad a la ya rica multiplicidad de interacciones entre las neuronas.

Es evidente que una neurona no se limita a participar en un único evento. Cada neurona es exigida y solicitada por múltiples interpelaciones; y no hay razón para negar la posibilidad de que lo que de ella pueda no conseguir una determinada señal actuando sobre un receptor determinado lo consiga otra señal más afortunada y capaz de activar otro receptor distinto. Entendemos que la variedad de reacciones intraneuronales en cadena que dependen de distintas cinasas conforma una salvaguarda o garantía para que, dentro de unos límites, estímulos de naturaleza distinta terminen por conseguir el mismo resultado o respuesta neuronal.

Las posibilidades de promover estas cadenas de reacciones son varias. En primer lugar, la despolarización que active canales de calcio directamente o la acción de ligandos que activen receptores asociados a canales de calcio (p. ej., los glutamato tipo AMPA y NMDA) incrementarán la concentración de calcio intraneuronal y éste activará importantes cinasas como son la proteincinasa A (PKA), la proteincinasa C (PKC), varias tirosinacinasas de la familia Src y las proteincinasas dependientes de Ca^{2+}/calmodulina (principalmente la CaMKII y CaMKIV). En segundo lugar, los numerosos ligandos que activan la adenililciclasa y la fosfolipasa C facilitarán la activación de PKA y PKC, respectivamente. En tercer lugar, otros ligandos del tipo de los factores de crecimiento activarán el factor Ras y la ulterior cadena de cinasas hasta activar la MAP-cinasa (vía Ras-MAPK). Las subunidades catalíticas de todas estas cinasas pueden penetrar en el núcleo neuronal en donde fosforilan la proteína nuclear CREB o, en el caso de Ras, la SRF, y de este modo las hacen operativas para que se fijen al CRE o al SER de un gen, y puedan así iniciar la transcripción génica (fig. 6.1).

Es así como se provoca la activación de genes de acción inmediata y de acción tardía que, en último término, van a generar dos tipos de modificaciones permanentes en el sistema nervioso de inmensa trascendencia: por una parte, refuerzan la transmisión en las conexiones sinápticas, y por otra, establecen y consolidan las redes interneuronales. Tal es la base funcional de la reconocida propiedad del sistema nervioso: su plasticidad.

La memoria forma parte esencial de todo proceso de aprendiza-

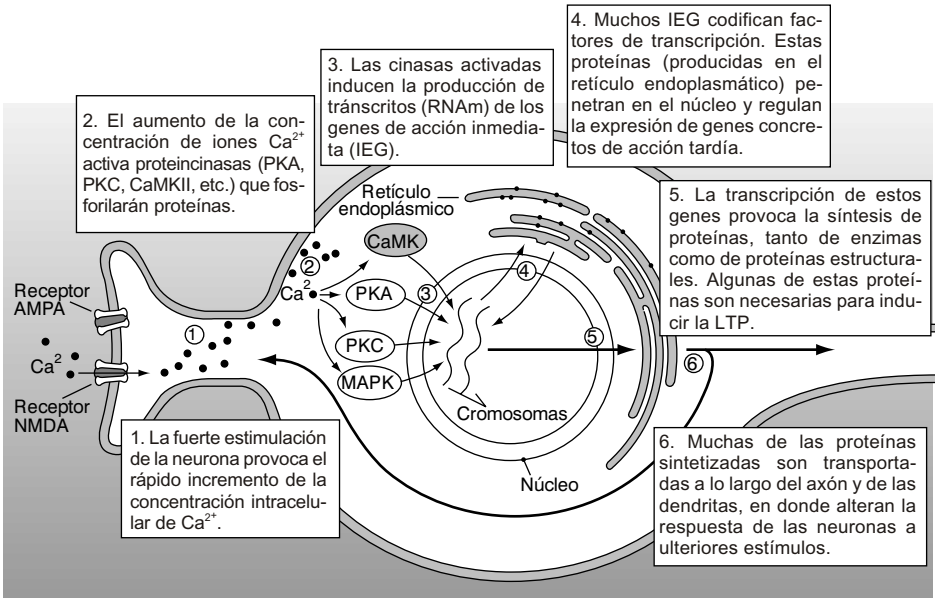

FIG. 6.1. Etapas de las cascadas neuroquímicas que pueden desarrollarse durante la inducción de la potenciación a largo plazo (por ejemplo, en la región CA1 del hipocampo). (Modificada de Flórez [1999b]).

je. Existen formas muy diversas de memoria que cumplen funciones muy distintas y que, incluso, pueden malograrse de manera independiente, de forma que, por ejemplo, se puede perder la capacidad de recordar nombres y mantener la de recordar caras, o podemos olvidar lo que se nos dijo ayer pero seguimos recordando cómo se hace un bizcocho. Estas múltiples formas de memoria demandan múltiples sistemas neuronales de memoria en el cerebro. Lejos, pues, de ser un proceso focalmente localizado o cerebralmente difuso, implica la actividad de numerosas estructuras y sistemas cerebrales que sustentan los distintos procesos mnésicos (fig. 6.2) (véase exposición detallada en Flórez, 1999a).

Atendiendo a un parámetro estrictamente temporal, se puede hacer una primera distinción entre memoria de duración breve o memoria a corto plazo, y las de duración más prolongada o memorias a largo plazo. De forma general se puede obtener una memoria corta con una exposición única a un estímulo, mientras que para obtener una memoria más prolongada es necesaria generalmente la repetición de la tarea. Sin embargo, hay ocasiones en las que un único estímulo es capaz de generar una memoria prolongada, tanto o más que la repetición de estímulos no significativos. Se trata, ló-

gicamente, de estímulos altamente relevantes para el individuo que, por tanto, podrían activar los mecanismos celulares implicados en la generación de memorias de larga duración de forma aguda. Existen entre ambos tipos de memoria diferencias moleculares expresadas por el hecho de que la memoria a corto plazo no es suprimida por la inhibición de la síntesis de proteínas, mientras que la memoria a largo plazo lo es (Milner et al., 1998). Ello sugiere que, para que se establezca la consolidación de la memoria a largo plazo, es necesaria la activación de la expresión de genes, a través de la activación de las vías de señalización intracelular antes señaladas, que terminen por activar la transcripción. No se conocen todavía cuáles son estos genes y cuál es el mecanismo de su activación. Algunos trabajos indican que el factor de transcripción dependiente de AMP cíclico (CREB) está implicado en la transformación de las memorias a corto plazo en memorias a largo plazo. Así, la inyección de un oligonucleótido competitivo para inhibir CREB blo-

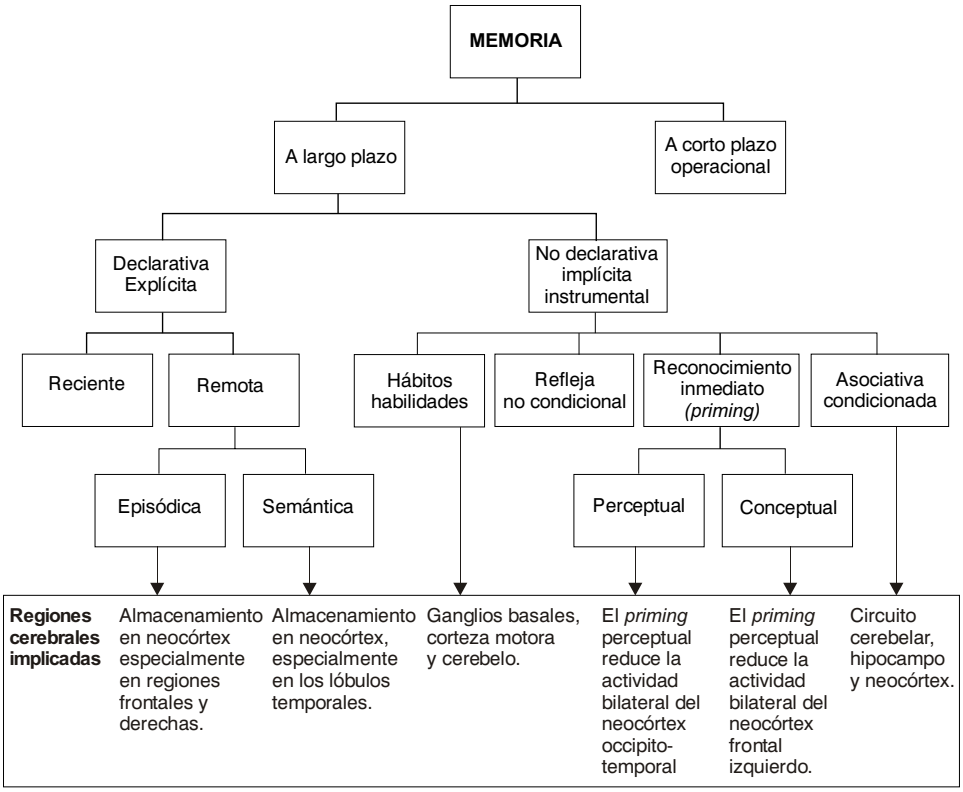

FIG. 6.2. Clasificación de las diversas formas de memoria y sistemas cerebrales implicados en cada una de ellas.

quea selectivamente la potenciación a largo plazo, sin que se afecte la facilitación a corto plazo (Dash et al., 1990). En Drosophila, la inducción mediante choque térmico de un transgén dominante negativo para CREB altera la adquisición de memorias a largo plazo sin afectar a las de corto plazo.

Estos resultados sugieren que la activación de la transcripción a través de CREB es necesaria para la formación de memorias de larga duración, y que las diferencias temporales de almacenamiento dependen de la instauración del reforzamiento sináptico y de su patrón (Yin et al., 1994). Así, lo que proporciona a la memoria su cualidad de estabilidad es el crecimiento de nuevas conexiones sinápticas. Este crecimiento sináptico depende de la activación de genes de respuesta inmediata desencadenada por CREB, activación que es iniciada por múltiples señales de neurotransmisores, factores de crecimiento, etc.; entre estos genes se encuentran los genes que codifican para la ubiquitina y para el factor de transcripción C/EBP (Alberini et al., 1995; Alberini, 1999; Hedge et al., 1997). De hecho, el bloqueo de la expresión de este último bloquea el crecimiento de nuevos contactos sinápticos.

Uno de los fenómenos fisiológicos mejor conocidos, ampliamente reconocido como sustrato fisiológico de la propiedad de permanencia o de mantenimiento de la plasticidad sináptica, es la potenciación a largo plazo o de duración sostenida (LTP: Long Term Potentiation) (véase Flórez, 1999b). Por ello se piensa que la LTP es uno de los mecanismos que intervienen en la constitución de los procesos de memoria, especialmente en la memoria de larga duración. Pues bien, la LTP es claramente promovida y mantenida por los mecanismos moleculares arriba descritos (fig. 6.1, paso 5). Caracterizada inicialmente en el área CA1 del hipocampo, su presencia es visible también en la amígdala y en la mayoría de las estructuras telencefálicas.

Desde el punto de vista molecular, se han definido varios estadios en la consolidación de la memoria. En un primer estadio se produce una LTP denominada temprana que no requiere síntesis de proteínas, aunque necesita la activación de cinasas como, por ejemplo, la CaMKII y una tirosincinasa (fyn). Existe una segunda fase en la que la LTP (tardía) requiere síntesis de proteínas y activación de PKA (Frey et al., 1993). Es esta LTP tardía la que responde a la activación de los genes de acción inmediata y tardía, antes señalados. Hasta tal punto estos genes son importantes en la for-

mación de la memoria y del desarrollo cognitivo, que su alteración origina en los animales experimentales la pérdida de posibilidades de memoria, y en la especie humana puede originar cuadros que cursan con deficiencia mental (Hamm y Johnston, 1998). Por ejemplo, el síndrome de Coffin-Lowry, en el que existe un déficit de la proteincinasa Rsk-2, que fosforila y activa CREB, y el síndrome de Rubinstein-Taybi, en el que existe una anomalía del gen que codifica CBP, una proteína nuclear que funciona como coactivadora de CREB con la que forma un complejo para unirse al CRE de los genes.

Puede haber también situaciones, sin embargo, en que existan deficiencias cognitivas debidas, no a la alteración genética que repercute en la anulación de la expresión de una proteína crítica para la transcripción génica, sino a la menor capacidad para generar mensajeros intracelulares en respuesta a determinadas y concretas señales. Así, por ejemplo, en el ratón con trisomía parcial del cromosoma 16 que se utiliza como modelo experimental de síndrome de Down se ha demostrado que posee escasa memoria espacial (Escorihuela et al., 1995, 1998), una reducción de la formación de AMPc en hipocampo y corteza cerebral en respuesta a estímulos beta-adrenérgicos y forskolina (Dierssen et al., 1997), así como a estímulos dopaminérgicos D1 (Lumbreras et al., 1999), y depresión en la producción de LTP en hipocampo (Siarey et al., 1997).

3. Factores emocionales y motivacionales: mecanismos de interacción y de compensación

Esto significa que nos encontramos ante un modelo molecular que claramente nos indica que señales inicialmente muy distintas, surgidas en áreas diferenciadas y distantes del cerebro, utilizan sistemas comunes o similares de activación que convergen en vías finales comunes. Es decir, puede ocurrir que una determinada vía de señalización (p. ej., la asociada a PKA) se encuentre alterada, de modo que las señales que activen dicha vía resulten incapaces de provocar la formación de LTP y su correspondiente expresión psicobiológica; pero, en cambio, las otras vías de señalización (p. ej., las asociadas a Ras-MAPK o a CaMKII) pueden estar indemnes, de modo que señales distintas de las que activen la PKA desencadenen su respectiva cascada de reacciones hasta originar la LTP deseada.

Es posible también que determinadas vías de señalización se

encuentren asociadas a áreas cerebrales concretas y a procesos psicobiológicos determinados. Por ejemplo, existen pruebas experimentales de que determinadas formas de memoria como puede ser la espacial depende primordialmente de la actividad del hipocampo; mientras que el aprendizaje de tareas en las que se encuentren implicados factores emocionales depende fundamentalmente de influencias que activan la formación de LTP en la amígdala (Maren, 1999). Pues bien, se ha podido comprobar en ratones que la afectación o la supresión de la vía Ras-MAPK anulaba el aprendizaje asociado a un estado emocional (amigdalar), mientras que no modificaba el aprendizaje espacial hipocámpico (Brambilla et al., 1997), lo que sugiere que este último depende de unas vías de señalización diferentes. Por consiguiente, puede ocurrir el fenómeno contrario: que determinados aprendizajes asociados a hipocampo se vean comprometidos, sin que se alteren aquellos en los que exista un componente o desencadenante emocional. De la misma manera, en aprendizajes en los que intervengan conjuntamente procesos hipocámpicos, amigdalares y de otras estructuras, la lesión (anatómica o bioquímica) de una de estas estructuras puede ser compensada por la activación y funcionalidad de las otras.

Debe hacerse una consideración adicional. El aprendizaje asociado a situaciones de contenido emocionalmente significativo parece registrarse en los sistemas cerebrales de memoria de una manera más constante y persistente (véase Rogan y LeDoux, 1996). Es muy posible que en su procesamiento intervengan mecanismos similares o incluso idénticos a los que hemos descrito para la formación de memorias estables. Esto significa que la manipulación emocional del estímulo puede ser utilizada para provocar cambios en la plasticidad cerebral que se traduzcan en incrementos de las posibilidades cognitivas.

Existen abundantes datos experimentales de cómo situaciones relacionadas con el miedo o el estrés, a través de la actividad amigdalar, son capaces de influir positivamente sobre el aprendizaje y el almacenamiento de memoria. Maren (1999) ha demostrado la formación de LTP en las vías amigdalopetales, y que dicha formación se encuentra directamente relacionada con el aprendizaje emocional, de forma que el bloqueo de receptores NMDA (y su correspondiente penetración de Ca^{2+}) bloquea la inducción de LTP en la amígdala, a la par que impide la formación de memoria emocional. Es evidente que otros estímulos emocionales, y muy en particular aquellos que muestran un alto componente motivacional, han de

actuar de modo similar sobre los mecanismos de procesamiento y retención de la información, reforzando así su adquisición y contribuyendo a mejorar la capacidad cognitiva.

Es también ampliamente reconocido el papel que los estados motivacionales desempeñan en el aprendizaje de diversas tareas. Todo el cuerpo doctrinal elaborado a partir de la investigación sobre los sistemas cerebrales de premio, factores reforzadores y conceptos relacionados con la incentivación de la motivación, analizados en otro lugar (Flórez, 1996), tiene aquí plena vigencia. La curiosidad, el interés, o el simple deseo de alcanzar un objetivo son factores críticos que promueven y facilitan las conductas de aprendizaje y la retención y consolidación de las tareas aprendidas. Efectivamente, los circuitos neuronales involucrados en la expresión emocional mantienen clara relación con los implicados en las conductas motivacionales; manteniendo su propia identidad, ambos interactúan entre sí e influyen decisivamente sobre las áreas neocorticales relacionadas con la atención, la corteza prefrontal involucrada en la memoria a corto plazo, y demás áreas corticales y núcleos subcorticales e hipocámpicos implicados en el desarrollo de memoria a largo plazo.

El problema en términos pedagógicos reside en saber cómo se despierta el interés, cómo se conoce cuáles son los intereses reales capaces de promover primero, y facilitar y mantener después, la conducta de aprendizaje.

A la vista de la importancia que los sistemas y situaciones emocionales tienen en la instauración y mantenimiento de los sistemas de memoria y aprendizaje cabe concluir que la activación, utilización y ejercitación de tales sistemas pueden compensar beneficiosamente, si bien en grado variable, el déficit de otros sistemas mnésicos. Éstas son, pues, las bases neurobiológicas que explican las experiencias cotidianas, ampliamente conocidas y descritas en la literatura educativa, las cuales muestran la evidente sinergia entre actividad informativa y motivación en los alumnos con limitaciones intelectuales de diversa naturaleza (Grolnick y Ryan, 1990; Deci et al., 1992; Pintrich et al., 1994; Field, 1996; Hauser-Cram, 1996; Brillhart y Johnson, 1997; Palmer y Wehmeyer, 1998; Koch, 1998; Kokubun, 1999).

En conclusión, nuestro planteamiento consiste en que cuando hay un déficit cognitivo no debido a carencia constitutiva de proteínas esenciales que intervienen en la base molecular de los procesos cognitivos, sino a limitaciones relativas en el número de señales o

en la capacidad funcional de esas señales que pueden incidir sobre una neurona o neuronas, es posible compensar con un tipo de señales lo que no se puede conseguir con otras. Quizá pueda parecer una simplificación; pero no debemos andar muy descaminados si afirmamos que estos mecanismos constituyen la base molecular de cómo determinadas influencias pueden suplir las carencias de otras, de cómo unas potencian o consolidan la eficacia de otras, y de cómo se expresa la plasticidad cerebral tanto en términos estructurales como funcionales. En último término, se trata de desentrañar el problema (en términos moleculares, si se nos permite) de cómo la ejercitación o el aprovechamiento de sistemas neurales funcionantes puede incidir sobre otros sistemas limitados y extraer de ellos funciones que se creían perdidas o ausentes.

4. Los procesos operativos emocionales y motivacionales

El mundo emocional es rico y variado en matices. Aunque cada proceso psicoconductual requiere el concurso de la actividad de numerosas áreas cerebrales, en el núcleo de cada sistema emocional y motivacional debe existir un proceso de mando, según se deduce de la capacidad que la estimulación de áreas cerebrales concretas tiene para activar patrones coherentes de conducta emocional. Unas veces la respuesta será la ira, otras el miedo, el dolor de la separación, la alegría sin límites, el interés decidido y determinante. Estas influencias centrales coordinadoras, a su vez, provocarán actividades cooperativas que se extienden por otros sistemas cerebrales, generando así toda una diversidad de tendencias de respuestas de carácter tanto psicoconductual como fisiológico. Todos estos sistemas pueden generar sentimientos emocionales que se experiencian íntimamente (véase fig. 6.3).

Cada sistema emocional está dispuesto de forma jerárquica a lo largo y ancho de todo el cerebro, en íntima interacción tanto con las estructuras cognitivas superiores que han evolucionado mucho más tardíamente en el desarrollo, como con estructuras fisiológicas específicas y sistemas motores de localización más inferior (Albert et al., 1999; Beggs et al., 1999; Panksepp, 1998). No parece exagerado afirmar que los sistemas emocionales y motivacionales tienen la virtud de ensamblar muchas de las actividades superiores e inferiores del cerebro, y que cada sistema emocional interactúa además con otros sistemas emocionales próximos. Esto significa que no hay

emoción sin su trasunto mental, y que muchos de los pensamientos evocan emociones. Más aún, las emociones colorean nuestros pensamientos; y con frecuencia, los suscitan. Junto a ello, finalmente, no hay emoción que no evoque una consecuencia fisiológica o conductual.

Es punto menos que imposible descifrar con la actual tecnología todos los sistemas que operan en el nacimiento de una determinada emoción y motivación, ni todos los elementos de neurotransmisión que son emitidos por los variados sistemas. Pero sentirse triste o alegre, altivo o valiente, pusilánime o decidido, debe obedecer a la activación concreta y circunscrita de subsistemas en los que concurren elementos variados de neurotransmisión química. La tecnología inmunocitoquímica debe permitirnos precisar poco a poco, al menos en el animal de experimentación, la va rie-

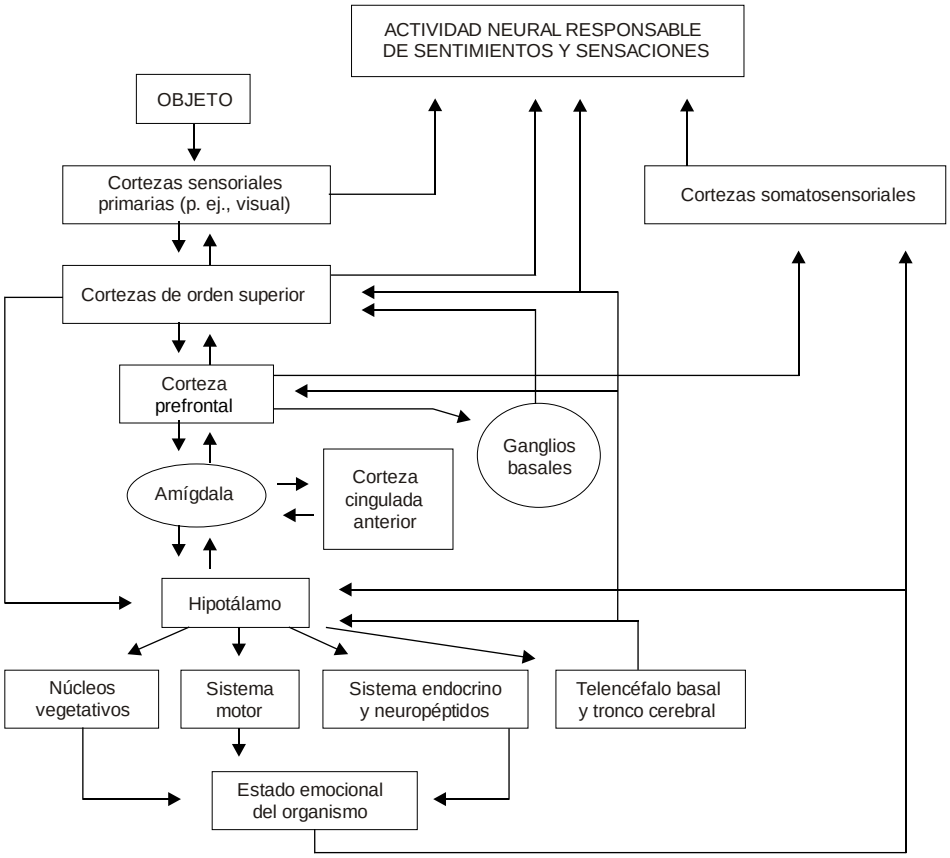

FIG. 6.3. Circuitos cerebrales implicados en los sistemas afectivos, emocionales y cognitivos.

dad de neuropépti dos cuyas acciones concurren en la ins tau ra ción de un deter mi nado sistema emocional. Igual mente, la ca pacidad de la nue va tecnología genéti ca para detectar las neu ronas que son acti vadas en el cur so de deter mi nadas experien cias conduc-tua les, por ejem plo detectan do los factores de trans crip ción que en esa circunstan cia se expre san, ayu darán a per fi lar es truc tu ras y cir cuitos neuro nales que in ter vienen en for mas específi cas de conducta.

En la in vesti gación rea li zada en los seres hu manos se tiene una confian za casi ili mi ta da en las téc ni cas de neuroi magen apli cadas a situa ciones diná mi cas. Nadie duda de la ri queza de sus aporta cio-nes, pero es preciso señalar sus limitaciones en el área que nos ocu-pa, al menos en el mo mento presente. La rapidez de expresión de las emociones supera la ope ra ti vi dad actual de esta téc ni ca. Por otra par te, exis ten serios pro blemas de in ter preta ción, ya que las pro pias emociones pueden modi fi car el flu jo sanguíneo y la oxi ge-nación por mecanismos que nada tienen que ver con una au téntica acti vación neu ronal.

Las emociones operan de modo in teracti vo en mu chos niveles jerárquicos den tro del ce rebro, y estos niveles, a su vez, se comuni-can entre sí bi di reccional mente. Esto sig ni fi ca que la conciencia afecti va experi menta da in ter namente va a poder in fluir so bre la conducta de di ver sos mo dos. Esta conciencia afecti va pue de no ser decisiva para pro mover rá pi das respuestas emocionales, pero sí para mar car estra te gias psi coconductua les a lar go pla zo. De hecho, nuestro apa ra to cogni ti vo es ca paz de modu lar pro fun damente las ten dencias emocionales.

Y es que en la respuesta emo cional existe un com ponente de in-terpretación y de apreciación que es complejo, en par te rá pido e in-consciente y en parte len to y de liberado, propio de una men te hu-mana que ha de afrontar el cómo vérselas con situaciones emocio-nal mente di fíciles. De entra da deberemos man tener la dis tin ción entre las res puestas in ter preta ti vas y las afecti vas. Aun que los pro cesos neura les de ambos ti pos de respuesta in teractúan am plia-mente, esta distinción nos permite centrarnos en los te mas más pri maria mente afecti vos. Posiblemente, los mecanis mos de la ex-perien cia afecti va, de la conducta emocional y de la con ducta mo ti -vadora se encuentran in trín secamente entre la zados en las estruc-turas más antiguas del cerebro: en la amígdala, en los ganglios de la base, en par te de la corteza frontal y cingulada; o dispersamente distri bui das por di ver sas áreas ce rebra les, o en repre senta cio-

nes distri bui das jerár qui camente como antes se ha in di cado, a lo lar go de los sistemas emocionales ejecuti vos que se extien den entre los ni veles más superio res e inferio res del cerebro.

Nos parece parti cular mente im portan te man tener esta dis tin - ción entre los pro cesos afectivos y cognitivos, por más que exista una ma siva in teracción entre el apa ra to cogni ti vo y emocional. La conciencia afecti va pue de alcanzar un gra do de desarro llo cla ra- mente su perior al de la con ciencia estric ta mente cogni ti va. No po- cos problemas de desarro llo que ata ñen al cerebro pue den afectar estruc tu ras de apari ción más tar día, más estric ta mente neocorti - cales, que pertur ban la la mi nación e in ter fie ren el ca bleado fi nal de la cor te za, pre servan do en cambio estruc tu ras cor ti cales y sub corti - cales de desarro llo más pri mi ti vo y sufi ciente para dar base es truc- tu ral neu ral a la con ciencia afecti va.

El pro blema está en compro bar en un in di vi duo concreto cómo el mun do de la in ter pre ta ción consciente y de la eva lua ción modula el mundo de la conciencia afectiva, y so bre todo, en qué gra do este úl ti mo, adecuadamente in ter ve ni do y ejercita do, puede in fluir so- bre el mundo cognitivo. Lo normal es que, una vez que se despierta el sistema emocional y mo ti vacional, en tren en ac ción di ver sas fun- ciones cerebra les de orden superior, des de suti les apre ciaciones a pla nes concretos. Estas in teracciones entre emo ción y cogni ción forman parte de la vida diaria de cada persona, de modo que re sul- ta más fá cil re cordar los acon te cimien tos re lacionados con episo- dios emoti vos más que reexperi mentar las emo ciones vi vi das. ¿Qué elemento pre domi na: el control cog ni ti vo que ejerce su influen cia sobre el pro ceso afecti vo, o es más fuerte la in fluen cia ascendente de lo afecti vo sobre lo cogni ti vo? En tér mi nos neuroanatómi cos y neuroquí mi cos parece que el flu jo ascendente es predomi nan te, lo que explica el hecho de que las emo ciones y los afectos influyan so- bre nuestras de cisiones de forma ma siva y per manente. Bien es ver dad, sin em bar go, que el grado de corti cali za ción al canzado en nuestra es pecie per mi te ejer cer un control fre cuen te mente decisivo sobre nues tras emo ciones y su co rres pon dien te expre sión.

5. Conclu sión

Si esto es así, y si re cordamos que ante un cerebro disminuido debemos pre guntar nos, por encima de cual quier otra con sidera- ción, cuáles son sus capacidades y habi li dades, resul ta evi dente

que la influencia afectiva y emo cional puede jugar un pa pel determinante en el apren di zaje, desarro llo y con soli dación de tales capacidades. Di cho así, resul ta har to in concreto por que ni toda in fluencia afecti va modula cual quier con ducta o fun ción cogni ti va, ni toda minusvalía cerebral se caracteri za por un elen co simi lar de carencias y capacidades. Se ha afirmado que, desde un punto de vista de la psi cología evolu ti va, la fi nali dad de los procesos cogni ti vos está en ofrecer soluciones más sutiles a los problemas que plantean los estados de acti vi dad emocional; posiblemente, el devenir evo lu ti vo ofrece una perspectiva bas tante más ambiciosa. Lo que sí nos parece cierto es que, en tér mi nos evolu ti vos, los estados emocionales del ser humano ad quieren ta reas de gran calado, ya que lle gan a suscitar ac ti vi dades cogni ti vas y, no menos im portan te, acti tu des mentales que de otro modo que darían ig notas. Esto, que es válido para cual quier cerebro, dis mi nui do o no, cobra par ti cular tras cendencia en situa ciones en que la capacidad cogni ti va se encuentra al terada, ya que las afe ren cias emocionales y moti vacionales lle gan a suplir caren cias de estí mu los de otro carácter.

La emoción en el ser humano no es un lujo; nos ayu da a ra zonar y a to mar de cisiones; nos ayuda a comu ni car nuestro con teni do mental a otras per sonas. No podemos decir que la emoción sea lo opuesto a la cogni ción por que no actúan de ma nera separada. Por otra parte, si se suprimen los sentimientos de la ta rea cognitiva pier den sus sistemas de orien ta ción, se hacen irra cionales.

Retornemos al punto en que se inició este aná lisis. Nuestra vida es el re sul ta do, ojalá que ar móni co, de nuestra con ducta, nuestra cog ni ción, nuestros afectos y moti vaciones y nuestra de li berada acción voli ti va y ejecuti va. He mos tra ta do de mostrar que un ce rebro disminuido no tiene por qué carecer ni de mo tivaciones ni de afectos, y que éstos, conve nien te mente for ta le cidos y uti li zados por una acción educati va in te li gente mente di señada y pacien te mente apli cada, son capaces de acti var los re sortes biológicos dispo ni bles para de sarro llar al má xi mo la poten cia li dad cogni ti va que hu biere: en esta o en aquella área, en esta o en aquella habilidad, en esta o en aquella fa ceta y mostrar así su propio grado de inteligencia.

El gra do o inten si dad de voli ción y, sobre todo, la na tu ra leza de la intención ha cia la cual esa volición se en cauza, no guarda re lación al guna con la capacidad de desarro llar com pli cados argumentos cogni ti vos. En cam bio, saber apli car y ajus tar con te na cidad la acción en el rumbo marcado por el de seo, y saber adaptar los de seos a la rea li dad mar cada por las pro pias posi bi li dades y vivencias es

manifestación de actividad mental sabia y armónica, al alcance de mentes en las que se puede identificar la veladura que en ellas vierten ciertas sombras.

Se ha dicho que educar la voluntad no consiste en ejercitar un músculo imaginario sino en educar la inteligencia afectiva (Marina, 1996). Pero no se ha predeterminado el grado de inteligencia ni el área en que esa inteligencia se debe expresar. Si en cualquier ser humano atendemos más a sus «capacidades para» en lugar de a sus «carencias de» encontraremos una copiosa gavilla de posibilidades para enriquecer esa inteligencia afectiva mediante la estimulación lúcida de los sentimientos que le envuelven y de los deseos que le solicitan. Lo gratificante de esta propuesta es que no es fruto de reflexión soñada sino de una realidad diariamente comprobada.

6. Referencias bibliográficas

Alberini, C. M.; Ghirardi, M.; Huang, Y. Y.; Nguyen, F. V. y Kandel, E. R. (1995): «A molecular switch for the consolidation of long-term memory, cAMP-inducible gene expression», Ann. N.Y. Acad. Sci., 758: 261-286.

Alberini, C. N. (1999): «Genes to remember», J. Exp. Biol., 202: 2887-2891.

Albert, M. S.; Diamond, A. D.; Fitch, R. H.; Neville, H., J.; Rapp, P. R. y Tallal, P. A. (1999): «Cognitive development», en M. J. Zigmond, F. E. Bloom, S. C. Landis, J. L. Roberts y L. S. Squire (eds.), Fundamental Neuroscience, Nueva York, Academic Press, pp. 1313-1338.

Beggs, J. M.; Brown, T. H.; Byrne, J. H.; Crow, T.; LeDoux, J. E.; LeBar, K. y Thompson, R. F. (1999): «Learning and memory: basic mechanisms», en M. J. Zigmond, F. E. Bloom, S. C. Landis, J. L. Roberts y L. S. Squire (eds.), Fundamental Neuroscience, Nueva York, Academic Press, pp. 1411-1454.

Brambilla, R.; Gnesutta, N.; Minichiello, L.; White, G. et al. (1997): «A role for the Ras-signalling pathway in synaptic transmission and long-term memory, Nature, 390: 281-286.

Brillhart, B. y Johnson, K. (1997): «Motivation and the coping process of adults with disabilities: a qualitative study», Rehabil. Nurs., 22: 249-252.

Dash, P. K.; Hochner, B. y Kandel, E. R. (1990): «Injection of the cAMP-responsive element into the nucleus of Aplysia sensory neurons blocks long-term facilitation», Nature, 345: 718-721

Deci, E. L.; Hodges, R.; Pierson, L. y Tomassone, J. (1992): «Autonomy

and competence as motivational factors in students with learning disabilities and emotional handicaps», J. Learn. Disabil., 25: 457-471.
Dierssen, M.; Vallina, I. F.; Baamonde, C. et al. (1997): «Alterations of central noradrenergic transmission in Ts65Dn mouse, a model for Down syndrome», Brain Res., 749: 238-243.
Escorihuela, R. M.; Fernández-Teruel, A.; Vallina, I. F. et al. (1995): «Behavioral assessment of Ts65Dn mice, a putative Down syndrome model», Neurosci. Lett., 199: 143-146.
Escorihuela, R. M.; Vallina, I. F., Martínez-Cué, C. et al. (1998): «Impired short- and long-term memory in Ts65Dn mice, a model for Dor Down syndrome», Neurosci. Lett., 171-174.
Field, S. (1996): «Self-determination instructional strategies for youth with learning disabilities», J. Learn. Disabil., 29: 40-52.
Flórez, J. (1996): «Cerebro: el mundo de las emociones y de la motivación», en F. Mora (ed.), El cerebro íntimo: ensayos sobre neurociencia, Ariel Neurociencia, Barcelona, pp. 165-185.
„ (1999a): «Bases neurobiológicas del aprendizaje», Siglo Cero, 30 (3): 9-27.
„ (1999b): «Bases neuroquímicas de la mente», en J. G. Porrero (ed.), Genes, cultura y mente, Publ. Universidad Cantabria, Santander, pp. 1-27.
Grolnick, W. S. y Ryan, R. M. (1990): «Self-perceptions, motivation, and adjustment in children with learning disabilities: multiple group comparison study», J. Learn. Disabil., 23: 177-184.
Harum, K. H. y Johnston, M. V. (1998): «Developmental neurobiology: new concepts in learning, memory, and neuronal development», Ment. Retard. Develop. Disabil. Res. Rev., 4: 20-25.
Hauser-Cram, P. (1996): «Mastery motivation in toddlers with developmental disabities, Child Dev., 67: 236-248.
Koch, M. (1998): «How can adaptive behavioural plasticity be implemented in the mammalian brain?», Z. Naturforsch, 53: 593-598.
Kokubun, M. (1999): «The relationship between the effect of setting a goal on standing broad jump performance and behaviour regulation ability in children with intellectual disability», J. Intellect. Disabil. Res., 43: 13-18.
Lumbreras, M. A.; Baamonde, C.; Martínez-Cué, C. et al. (1999): «The adenylyl cyclase signalling pathway in the brain of children with Down syndrome and in the mouse model Ts65Dn», Soc. Neurosci. Abst, 25 (parte 1): 490.
Maren, S. (1999): «Long-term potentiation in the amygdala: a mechanism for emotional learning and memory», Trends Neurosci., 22: 561-567.
Marina, J. A. (1996): El laberinto sentimental, Anagrama, Barcelona.
Milner, B.; Squire, L. R. y Kandel, E. R. (1998): «Cognitive neuroscience and the study of memory», Neuron, 20: 445-468.
Orban, P. C.; Chapman, P. F. y Brambilla, R. (1999): «Is the Ras-MAPK

signalling path way necessary for long-term me mory for mation?», Trends Neu rosci., 22: 38-44.
Palmer, S. B.; Weh meyer, M. L. (1998): «Students• expectations of the fu-tu re: ho pelessness as a barrier to self-de ter mi nation», Ment. Retard., 36: 128-136.
Panksepp, J. (1998): Affec ti ve Neuroscience: The Foundations of Hu man and Ani mal Emotions, Nue va York, Oxford University Press.
Pintrich, P. R.; Anderman, E. M. y Klo bucar, C. (1994): «Intraindividual dif feren ces in moti vation and cog ni tion in stu dents with and wit hout lear ning dis abi li ties», J. Learn. Disabil, 27: 360-370.
Rogan, M. T. y Le Doux, J. E. (1996): «Emotion: systems, cells, synaptic plas ti city», Cell, 86: 469-475.
Siarey, R. J.; Stoll, J.; Ra poport, S. I. y Galdzicki, Z. «Alte red long-term potentiation in the young and old Ts65Dn mou se, a model for Down syndro me», Neurop har macology, 36: 1549-1554.
Yin, J.; Wa llach, J. S., Vec chio, M. del et al. (1994): «Induction of a do mi-nant ne gati ve CREB trans gene specifi cally blocks long-term me mory in Dro sophi la», Cell, 79: 49-58.

CAPÍTULO 7

COMPUTACIÓN Y ANTROPOMORFISMO EN ROBÓTICA EMOCIONAL

por JOSÉ MIRA

1. El problema de la emoción artificial. — 2. La inteligencia cognitiva artificial. — 3. Maturana, Varela, Newell y Marr: una metodología común a neurociencia y computación. — 4. La inspiración biológica en robótica y computación. — 5. El rigor de la física, la matemática y la computación en neurociencia. — 6. Reflexiones finales sobre computación y emoción. — 7. Agradecimiento. — 8. Referencias bibliográficas.

1. El problema de la emoción artificial

En la descripción de AIBO, un robot de Sony con apariencia de perro, encontramos afirmaciones como las siguientes: «AIBO fue diseñado para ser un robot autónomo, con sus propias emociones e instintos y la habilidad para aprender y madurar. Así, reaccionará a sus entornos de acuerdo con su propio juicio y a veces nos sorprenderá haciendo cosas inesperadas» [...] «AIBO puede aprender por refuerzo y alabanzas. Si le reprendes mientras mira una pelota, pronto imaginará (comprenderá) que no es buena idea hacer eso y puede mostrar signos de mal humor siempre que haya una pelota en sus alrededores. A veces incluso puede volverse loco y ladrar» [...] «Las cosas que aprende con tu guía se convierten en partes de su personalidad, haciendo a tu AIBO diferente de cualquier otro.»

Esta descripción es representativa de todo el movimiento actual en torno a la llamada robótica emocional que pretende trans-

portar al campo de la robótica y la computación el conocimiento emocional (Breazeal y Velasuqez, 1998; Brooks et al., 1998). Es decir, lo que fisiólogos, médicos, biólogos y psicólogos saben sobre el comportamiento emocional en animales y hombres. Inversamente, pretenden ayudar a comprender la fenomenología asociada a la esfera emocional real (la de los seres biológicos) construyendo robots autónomos que mimeticen algunos aspectos externos y anecdóticos (de apariencia) del comportamiento emocional. Este doble propósito, que podría parecer loable en la interacción entre psicobiología y computación es en nuestra opinión perjudicial porque distrae a los profesionales de ambos lados apartándolos de otras vías de comunicación más serias y científicas que podrían mostrarse realmente útiles a más largo plazo.

Obsérvese que en el texto citado aparece un gran número de palabras-concepto (emociones, instintos, aprendizaje, maduración, el yo, juicio, alabanza, represión, comprensión, imaginación, idea, valoración [buena], humor, locura, personalidad...) absolutamente antropomorfas, extraídas del discurso humano y adjudicadas a la máquina sin ninguna justificación real, de forma arbitraria. Esta forma de interacción entre la computación y el conocimiento de lo vivo ha sido y sigue siendo muy perjudicial porque distrae a los profesionales serios de ambos lados del camino propio de la ciencia. Curiosamente, en los orígenes de la cibernética se tenía más claro el concepto de interdisciplinariedad. Decía N. Wiener: «El matemático (ahora también el físico, el ingeniero, el experto en robótica y computación...) no necesita tener los conocimientos necesarios para llevar a cabo un experimento neurofisiológico, pero debe tener los conocimientos necesarios para comprenderlo, criticarlo o sugerirlo. Análogamente, el fisiólogo (ahora también el psicobiólogo, el médico, el lingüista, el etólogo...) no necesita ser capaz de saber demostrar un teorema (o programar un modelo de neurona, o construir un robot, o entender un programa de •inteligencia artificialŽ, o saber construir físicamente un robot...) pero debe ser capaz de extraer su significado biológico y poderle decir al matemático (físico, ingeniero...) qué debe buscar» (Wiener, 1947) y cómo puede mejorar ese diseño usando la inspiración biológica. Este sueño interdisciplinario, claro y científicamente fructífero, de entender juntos el comportamiento humano y la computación (aprovechándose cada parte de la fortaleza de la otra) todavía persiste en algunos de nosotros y puede formularse de la siguiente forma:

1. ¿En qué y cómo pueden ayudar a los «bio» los conceptos, las

herramientas formales y las técnicas de la computación para analizar, modelar, simular y comprender los mecanismos cognitivos y emocionales del cerebro?

2. ¿En qué y cómo pueden ayudar a los «computacionales» los conceptos, mecanismos y principios característicos del comportamiento cognitivo y emocional y las estructuras neuronales subyacentes para obtener inspiración para el diseño de nuevos programas y nuevos robots autónomos?

Para intentar reflexionar sobre estas dos cuestiones hemos estructurado el resto del trabajo en los siguientes apartados: 2) La inteligencia cognitiva artificial, 3) Maturana, Varela, Newell y Marr: una metodología común a neurociencia y computación, 4) La inspiración biológica en robótica y en computación, 5) El rigor de la física, la matemática y la computación en neurociencia, y 6) Reflexiones finales sobre computación y emoción.

2. La inteligencia cognitiva artificial

La idea que subyace a todo el movimiento interdisciplinar de la cibernética relacionado con el modelado computacional del Sistema Nervioso (SN) y del que después nació la inteligencia artificial es que:

Los seres vivos y las máquinas pueden comprenderse usando la misma metodología experimental, los mismos principios de análisis, los mismos esquemas organizacionales y estructurales y las mismas herramientas formales y computacionales.

Desde esta perspectiva inicial, establecida en torno a 1943, con los trabajos de Wiener (1943, 1947), W. S. McCulloch (1943, 1965) y K. Craik (1943), nació la rama de la computación que fue bautizada en 1956 con el nombre de Inteligencia Artificial (IA) y que desde entonces ha perseguido el viejo sueño griego de mecanizar los procesos del pensamiento, intentando comprender, modelar y simular los procesos cognitivos característicos de nuestro sistema nervioso: las distintas modalidades sensoriales (visión, audición, tacto...), la integración plurisensorial, la memoria, el aprendizaje, el razonamiento y el lenguaje natural (A. R. Luria, 1974; J. Mira y R. Moreno-Díaz, 1984).

Hoy se acepta (J. Mira et al., 1995) que en esta rama cog nitiva de la IA existen dos ti pos de actividades bá sicas:

a) IA como ciencia de lo na tural (aná li sis).
b) IA como in genie ría (sín tesis).

En la primera actividad se bus ca la comprensión de los pro cesos cogni ti vos. En la segun da se busca la sín tesis de estos pro cesos in- ten tan do construir una au tén ti ca «ingenie ría del co nocimien to» con las caracterís ti cas propias de las otras in genie rías de la ma teria y la energía.

Si somos capaces de compren der y mo delar de for ma computa- ble los pro cesos de visión y aña dimos al com putador, en el que re si- de ese progra ma de «visión», los sensores adecuados decimos que tenemos un sistema de visión ar tificial. Y lo mismo ocurre con el resto de los pro cesos. Así, por ejemplo, si completamos los sensores vi suales con otros de señales acústi cas, «tacto» y propiocepción y añadi mos después un conjun to de efectores (ta les como ruedas, mo- tores y ma ni pula dores) te nemos el «cuerpo» de un robot. Al aña dir- se un conjun to de mi cropro cesadores en los que pueda re sidir un progra ma con el co nocimien to computa ble sobre el pro cesado de esos datos «sensoriales» y su uso posterior en la planificación y con- trol del mo vi mien to de los efectores (rue das y ma ni pula dores) deci- mos que tenemos un ro bot au tónomo.

Aná logamente, cuan do nos centra mos en los procesos cogni ti - vos «intermedios» entre la percepción y la acción mo tora, las ta reas de decisión, ra zonamien to e in feren cia, no nos tenemos que preocu- par de sen sores ni de efectores. Aquí el problema está en mo delar el co nocimien to que tie nen los exper tos hu manos (médi cos, abogados, in genie ros, geólogos o profesores) para rea li zar su ta rea, en general de natu ra leza científi co-técni ca. Por ejemplo, el diag nósti co, la su- pervi sión y control de un pro ceso, el procedi mien to de di seño de una má qui na o la fun ción de enseñar (sis temas tu toria les «inteli - gentes»). En todos estos casos el resultado fi nal es un pro grama («sistema experto») residente en un com puta dor de pro pósito gene- ral (un PC en muchos casos) que actúa como consejero del experto hu mano o lo susti tu ye en situa ciones especiales.

Estos dos tipos de ta reas se abordan en la actualidad usando méto dos simbóli cos, co nexio nistas (re des de «neuronas» arti fi cia- les) o híbridos. En los mé todos simbólicos, todo debe quedar progra- mado de forma explí cita y de clara ti va y se acepta im plí citamente

que podemos mimetizar los procesos cognitivos usando un conjunto de símbolos y otro conjunto de reglas que manipulan esos símbolos.

En los métodos conexionistas, vagamente inspirados en lo que se conocía del funcionamiento de las motoneuronas en los años cuarenta, se usa un esquema de «clasificador multicapa». Las distintas capas están formadas por procesadores paramétricos elementales con alto grado de conectividad y una parte de la programación directa se sustituye por otra indirecta responsable de los algoritmos de «aprendizaje», es decir, de los procedimientos de ajuste del valor de los parámetros de acuerdo con cierta función global tipo error cuadrático medio.

Éste es el panorama de la IA cognitiva, como ciencia de análisis y como ingeniería y con sus métodos simbólicos y/o conexionistas. Aunque en sus orígenes estaba muy cargada de antropomorfismo (incluido su propio nombre), un número importante de profesionales del campo siempre entendió dónde estaba el trabajo real: en modelar el conocimiento humano no analítico sobre los procesos cognitivos y los métodos de solución de problemas técnicos y en construir después programas que transportaran la parte computable de esos modelos (los símbolos «fríos», formales) dejando fuera las tablas de semántica del lenguaje natural y del conocimiento propio del especialista (T, temperatura, fiebre).

De hecho, el esfuerzo investigador se ha dedicado a la representación formal del conocimiento usando la lógica, las reglas, los marcos (objetos estructurados) o las redes semánticas, al estudio de algoritmos de búsqueda en grafos siguiendo distintas heurísticas, al uso de métodos probabilísticos para tratar la incertidumbre o al desarrollo de entornos de edición de esos modelos de conocimiento para facilitar la construcción de programas de IA. En este último apartado, la tendencia actual es buscar bibliotecas de componentes reutilizables (tareas, métodos e inferencias) y ontologías sobre el conocimiento de distintos dominios. Se intenta así aproximar la parte aplicada de la IA («la ingeniería del conocimiento») a las otras ingenierías de la materia y la energía, más sólidas y probadas en su eficacia. Es decir, la perspectiva cognitiva de la IA pretende despojarse de sus componentes más míticos y espectaculares y convertirse, «sencillamente», en ciencia e ingeniería normales.

Así estaban las cosas cuando aparece en escena la «inteligencia emocional artificial» centrada en torno a la llamada robótica emocional y mucho más cargada de términos antropomorfos y de optimismo exagerado que su hermana mayor, la IA cognitiva. Se pasa

FIG. 7.1. Robots autónomos y juguetes: a) robot autónomo DENU, del tipo Monad 200 moviéndose por los pasillos del laboratorio; b) esquema de los mecanismos interiores del pato de Vaucanson (173x). Una descripción reciente se encuentra en el libro de Sigvar Straudh La historia de la máquina.

así, teóricamente, de la búsqueda del «pensamiento artificial» (la mecanización del razonamiento lógico y de los procesos perceptuales y motores de bajo nivel) al «sentimiento artificial» (la mecanización de las emociones). De hecho, sin embargo, la robótica emocional sólo añade una capa externa de silicona para dar forma de perro o bebé a los desarrollos previos de la robótica autónoma (control coordinado de un conjunto extenso de efectores con servomecanismos) que ya realizaba tareas en entornos peligrosos (explorar y manipular en el fondo del mar, desactivar artefactos terroristas y minas, actuar en entornos radiactivos y con alta temperatura o pasearse por Marte bajo control remoto) o potenciar la precisión y eficacia del trabajo de un cirujano directamente o por telepresencia (J. R. Álvarez, F. de la Paz y J. Mira, 1999; J. Romo, F. de la paz y J. Mira, 1998; T. Lozano-Pérez, 1983; O. Kathib, 1985 y R. Brooks, 1986). La figura 7.1a) muestra los aspectos de un robot convencional navegando por un pasillo de nuestro laboratorio sin ningún traje de «apariencia» humanoide. Por contraposición, puestos a recordar robots (autómatas) con apariencia de animales, en la figura 7.1b) mostramos un esquema del pato construido por el ingeniero francés Jacques de Vaucanson (1709-1782) [34] con un mecanismo de más de mil piezas que podía moverse en la forma en la que se mueven usualmente los patos, «comer», «beber», «digerir» y «excretar» de forma «natural». La energía para alimentar todos estos movimientos la obtenía mediante caída de un peso. Curiosamente,

Vaucanson tenía muy clara su propósito. Quería usar un conjunto de mecanismos para ilustrar una «anatomía que se mueve». Todavía sigue siendo cierto este propósito de forma tal que si cambiáramos emoción (emotion) por movimiento (motion), todo quedaría más claro.

Este interés por los autómatas quedó latente durante mucho tiempo durante el cual la ingeniería real superó con mucho a esos autómatas. Después, escritores de ciencia ficción con conocimiento de física e ingeniería retomaron el tema de los antropoides que pasó más tarde al cine. Curiosamente, el Hal-9000 propuesto por Arthur C. Clarke en su novela 2001: una odisea en el espacio (D. G. Stork, 1997) no hace énfasis en la necesidad de que el computador tenga «anatomía» humana.

Lo que es significativo en la actualidad es que este énfasis en asociar inteligencia emocional a robots androides ha salido del cine y la literatura y ha invadido centros de investigación tan prestigiosos como el MIT (C. Breazea y J. Velasuqez, 1998; R. Brooks et al., 1998; R. A. Brooks y L. A. Stein, 1994).

Ahora es frecuente oír hablar en IA y en robótica de robots emocionales», «interacciones sociales hombre-robot», «robots» que hablan (protolenguaje)», «autoconsciencia», «arquitecturas reflexivas», «programas intencionales», «motivación y estados emocionales de un robot», «criaturas emocionales artificiales», «cólera, disgusto, miedo, alegría y tristeza del robot Kismet» (C. Breazeal y J. Velasuqez, 1998; R. Brooks et al., 1998), etc. En mi opinión, esta tendencia nos distrae en el verdadero camino de interrelación entre neurociencia y computación. Para contribuir a la solución de este problema vamos a dedicar la parte central de este trabajo a intentar aclarar qué es la computación y, consecuentemente, cómo puede usarse en relación con las neurociencias y las ciencias de la conducta para comprender conjuntamente el sistema nervioso y sus manifestaciones cognitivas y emocionales. Para este fin resumiremos a continuación el modelo general de computación en un nivel y la metodología de niveles y dominios de descripción de toda computación, incluida la que subyace a la llamada robótica emocional. Este camino es, probablemente, menos espectacular que el usual pero, seguramente, más serio y eficiente a largo plazo.

3. Maturana, Varela, Newell y Marr: una metodología común a neurociencia y computación

En computación y en neurociencia usamos el concepto de nivel en dos sentidos: 1) nivel fenomenológico, y 2) nivel de descripción (físico, simbólico o de conocimiento).

El primer sentido (nivel fenomenológico) es el usual en biología y en física. Focaliza y acota el conjunto de resultados experimentales que se pretenden explicar y define su granularidad. Así, en biología se distingue el nivel físico-químico subcelular, el celular (bioquímico y eléctrico), el orgánico y el de comportamiento global. En electrónica se distingue entre la electrónica física (teoría de bandas, fenómenos de transporte y recombinación), las estructuras con discontinuidades físicas y eléctricas (uniones), los dispositivos considerados como elementos de circuitos y las funciones de síntesis (amplificación, oscilación, filtrado...). Son los niveles de análisis.

El segundo concepto de nivel (el de descripción) fue introducido en la computación por David Marr (1982), que distinguía entre «teoría computacional, representación y algoritmo e implementación» y Allen Newell (1981), que introdujo otra distinción análoga: «nivel de conocimiento, nivel simbólico y nivel físico».

En ambos sentidos se tiene que entender el concepto de «modelo general de computación en un nivel». Es decir, este modelo debe ser válido para todo nivel fenomenológico (dominio de conocimiento que queremos modelar) y para todo nivel de descripción de cualquiera de esos dominios de conocimiento. Este modelo general de computación se ha convertido de hecho en el paradigma de ciencia normal, en el sentido de T. Khun.

El modelo general de computación J. Mira et al., 1995; J. Mira, 1998) afirma que toda la fenomenología de un nivel se puede describir mediante la interacción medio/sistema, tal como se muestra en la figura 7.2, donde el medio es a su vez otro sistema que puede ser descrito de la misma forma. De hecho, cada partición medio/sistema define un compartimiento de un nivel, especifica un conjunto de señales del medio (que entiende el sistema) y especifica también el conjunto de respuestas del sistema (que entiende el medio). Cada partición medio-sistema dentro de un nivel queda caracterizada por un lenguaje formal común con el que se describe la interacción medio-sistema (la dinámica de las señales que intercambian).

Por convenio, llamamos medio a lo que estimula y sistema a lo

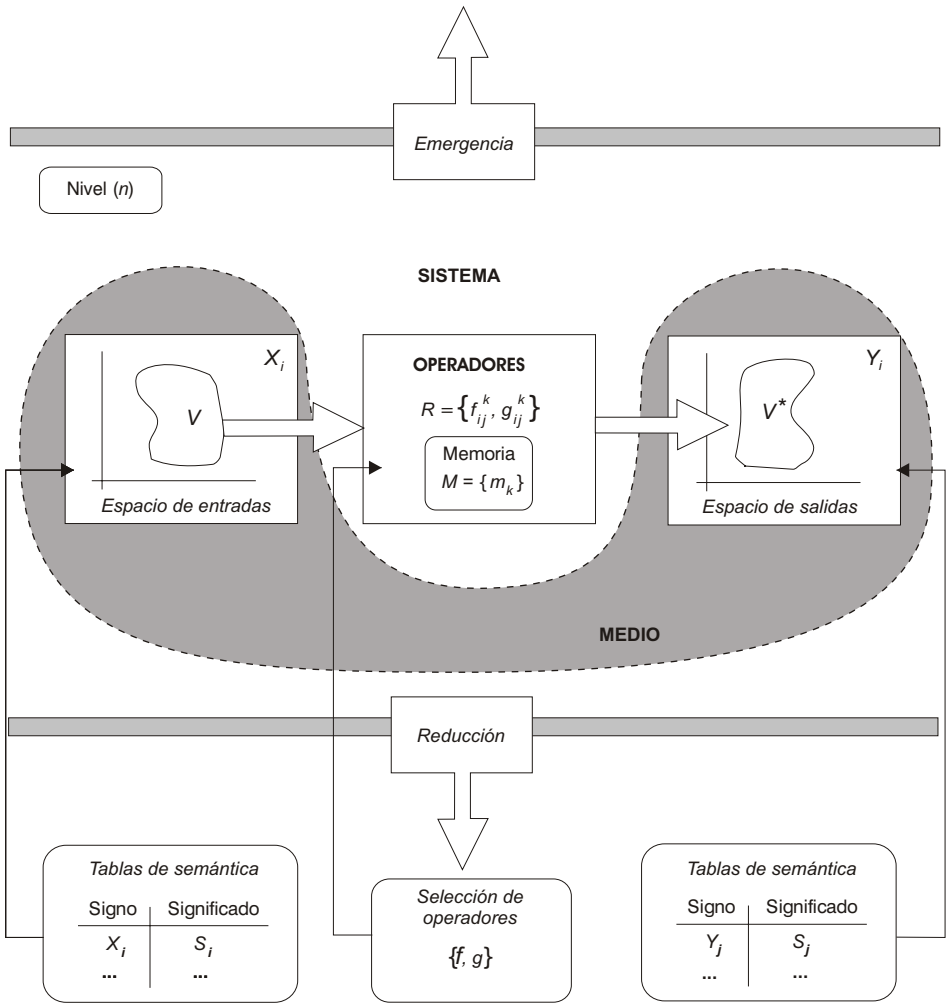

FIG. 7.2. Modelo computacional en un nivel. Los espacios de entrada y salida son, en general, espacios de representación con tablas de semántica dependientes del nivel y del conocimiento que se quiere modelar; los operadores deben ser acordes con la naturaleza de los datos experimentales.

que responde y el comportamiento del sistema se describe en términos de un conjunto de variables de entrada $X = \{x_i(t)\}$ que deben ser medibles, un conjunto de variables de salida, $Y = \{y_j(t)\}$, que también deben ser medibles, y un conjunto de reglas de transformación:

$$R = \left\{ f_{ij}^{k}(t), g_{ij}^{k}(t) \right\}$$

que, de forma inequívoca, realizan procesos de cálculo de naturale-

za analítica y/o lógico-relacional sobre las variables de entrada y los contenidos de memoria, $M = \{m_n(t)\}$, para generar los valores de las variables de salida:

$$y_j(t + \Delta t) = f_{ij}^k [x_i(t), m_k(t)]$$

y modificar los contenidos de la memoria,

$$m_k(t + \Delta t) = g_{ij}^k [x_i(t), m_k(t)]$$

Todo modelo computable en un nivel puede entonces describirse en términos de un conjunto de señales (variables x_i, y_j y m_k) que representan la información (los datos) y un conjunto de reglas (operadores) que especifican de forma «clara, precisa, completa e inequívoca» los procesos analíticos o lógicos-relacionales que se usan para transformar cualquier secuencia de representaciones de entrada $\{x_i(t), x_i(t + t), x_i(t + 2t), ...\}$ en la correspondiente secuencia de representaciones de salida $\{y_j(t), y_j(t + t), y_j(t + 2t), ...\}$, sin ninguna conexión causal con el significado de las variables. Es decir, las reglas que enlazan los espacios de representación son independientes de la semántica que le asocian el programador y el intérprete del programa. Por consiguiente, no hay nada inherente a la máquina (el computador) ni al programa (el lenguaje formal) que tenga la más mínima relación con los significados (entidades cognitivas o emocionales) que le asocia el usuario (intérprete). Así, la computación es un mero instrumento. Esto implica que, si en vez de hablar de variables físicas de entrada y salida, hablamos de espacios de representación de las entradas y las salidas, podríamos estar hablando de cualquier cosa. Por ejemplo, del lenguaje natural, de intenciones, motivaciones, emociones, gestos, caras, movimientos de brazos articulados, etc. Al cambiar el efector y hacerlo análogo a la anatomía de los animales o de los hombres tenemos «inteligencia artificial emocional», pero de la máquina sólo sale un vector de ceros y unos que controla un conjunto de servomecanismos.

La clave está en las tablas de semántica y en el aspecto de los efectores que usemos para describir el significado de esas variables y, consecuentemente, el de los procesos representados por los operadores que las enlazan. Estos significados siempre tienen que definirse en dos niveles, que a su vez pertenecen a dos dominios de descripción diferentes:

a) En el dominio propio del nivel donde hay causalidad y semántica intrínseca.

b) En el dominio del observador externo, en cuyo nivel de conocimiento se pueden realizar dos tipos de descripciones:

b.1) Cuando se habla de la fenomenología propia del nivel, con sus leyes de causalidad inmutables, asociadas a la estructura (las mismas del apartado a).

b.2) Cuando se habla del modelo y de su interpretación con el propósito de comunicarse con otro humano. En este caso se puede usar el código del lenguaje natural y la semántica propia del dominio.

Lo importante, nos dice Maturana, es «saber llevar bien la contabilidad» y no mezclar las entidades del dominio propio (de la máquina electrónica o del sistema biológico) con las entidades usadas para la comunicación con otros humanos, para explicar un determinado proceso de cálculo o el significado de un proceso fisiológico, pero que no residen en los mecanismos subyacentes a nivel causal. Es decir, que no son necesarios para explicar (o sintetizar) la organización de la que surge la conducta observada (F. J. Varela, 1959).

Si ya tenemos una cierta idea de lo que significa la metáfora computacional, resumida en lo que hemos llamado «modelo de computación en un nivel», el siguiente paso metodológico se debe a David Marr y Allen Newell y consiste en distinguir tres niveles de descripción comunes a neurociencia y computación.

Decía Davis Marr que cualquier explicación de la percepción visual, por ejemplo, que se base sólo en el conocimiento del funcionamiento de las redes neuronales desde retina a corteza será absolutamente insuficiente. Lo que necesitamos tener es una «clara comprensión de lo que se debe calcular, cómo es preciso hacerlo, los supuestos físicos en los que se basa el método y algún tipo de análisis sobre los algoritmos que son necesarios para llevar a cabo ese cálculo» (D. Marr, 1982). Esto supone la introducción de un nivel adicional al que Marr llamó «teoría del cálculo» y Newell «nivel de conocimiento» (A. Nevell, 1981).

Así, ahora es usualmente aceptado en el campo de la IA y en el modelado computacional en neurociencia (P. S. Churchland y T. J. Sejnowski, 1992; H. Hawkins y T. A. McMullen, 1996) que para analizar o sintetizar un modelo computable, tanto si el sistema es artificial como si es natural, es necesario distinguir e integrar, al menos, tres niveles de descripción, tal como se ilustra en la figura 7.3:

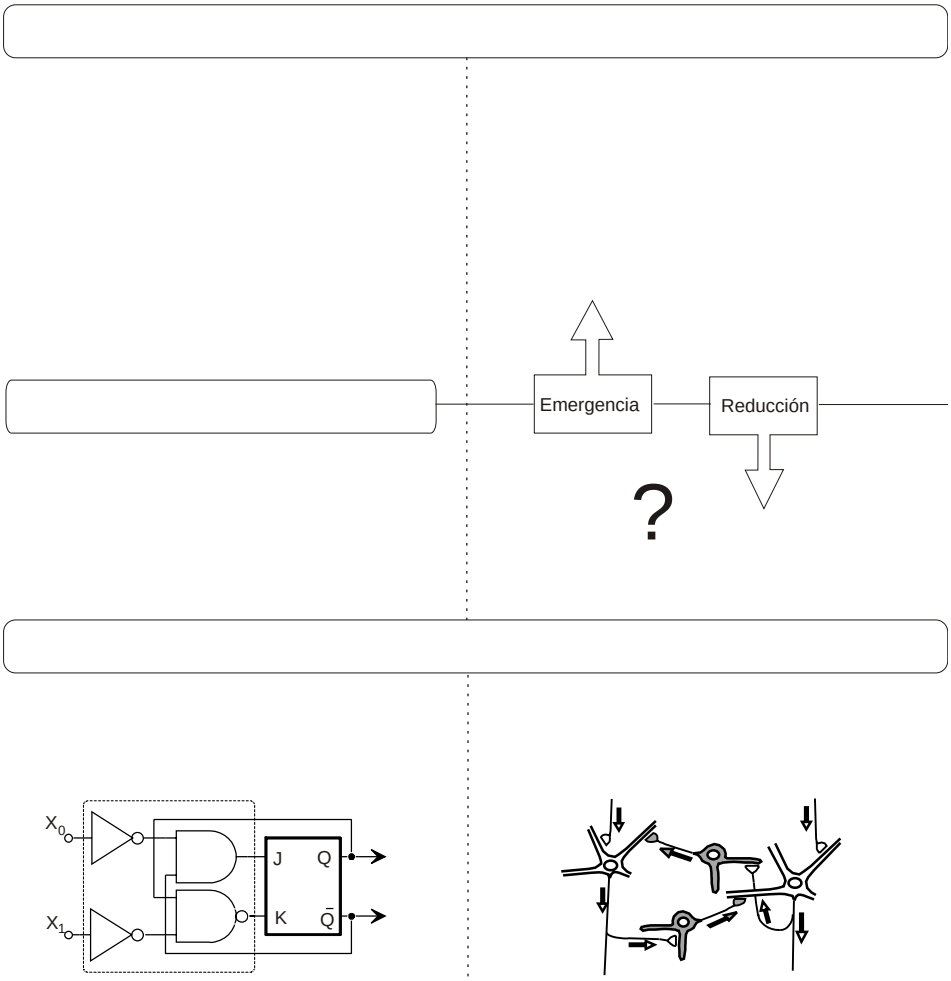

FIG. 7.3. Niveles de descripción de un cálculo igualmente válidos para la descripción del SN y la conducta emergente a partir del comportamiento de las redes neuronales. I. Nivel de conocimiento. II. Nivel de los símbolos computables (lenguaje de programación) o neurofisiológicos. III. Nivel físico (la máquina digital) o fisiológico.

I) Una teoría de cálculo (un modelo a nivel de conocimiento en Newell).

II) Un algoritmo (un programa en el nivel de los símbolos en Newell).

III) Una implementación biológica o electrónica (una máquina, en el nivel físico en Newell).

En el primer nivel tenemos el modelo que queremos hacer computable descrito primero en lenguaje natural y después en un lenguaje formal que usa nuestros conocimientos de lógica, matemáticas y lenguajes de programación para aproximar la primera versión de las especificaciones funcionales del modelo a la que finalmente será computable. Por ejemplo, usando un grafo o una máquina de estados finitos y dejando claro cuál es la parte del conocimiento humano que va a poder pasar al programa y cuál es esa otra parte del conocimiento que, necesariamente, se quedará en el nivel de conocimiento del usuario humano (observador, programador e intérprete).

El segundo nivel de Marr (representación y algoritmo) incluye la descripción algorítmica del modelo anterior y se corresponde, aproximadamente, con el nivel de los símbolos propuesto por Newell (el programa).

El tercer nivel tiene que ver con todo el proceso de implementación que nos lleva del programa a la máquina electrónica, al robot. Inversamente, cuando analizamos un proceso fisiológico del que surge una conducta emocional, este tercer nivel es el primero: los procesos neurofisiológicos, las redes neuronales, su conectividad y la descripción funcional a nivel de señales fisiológicas.

Si ahora visitamos el interior de cualquier robot «emocional» tras quitarle la máscara («cara», «ojos», «orejas»...) y recordando lo dicho sobre los tres niveles de computación, lo primero que encontramos es el nivel físico. Es decir, un conjunto de servomotores, palancas y engranajes junto con sus circuitos de control (un microprocesador y los conversores A/D y D/A de interfaz). Además, en el microprocesador sólo encontramos voltajes binarios (0 o 5 voltios) que se transforman en otros de acuerdo con circuitos digitales (operadores aritmético-lógicos). Por consiguiente, no hay evidencia de nada residente en la máquina que haga mención a las etiquetas asociadas al robot desde el exterior («sorpresa», «miedo», «tristeza», «disgusto», «alegría»...). Ésta es la visión que tendría un fisiólogo experimental o un ingeniero electrónico. Cuando la inteligencia y la emoción llegan al nivel físico se convierten en mecanismos neuronales o electrónicos convencionales, como no podía dejar de ser. El resto, en el caso de los robots, es añadido de forma arbitraria desde el exterior.

El segundo nivel de toda computación es el programa. Si en la visita al robot emocional incluimos a un programador podemos volver a preguntarle dónde están los referentes de las supuestas in te-

ligencia y emoción del robot. En la versión en binario puro del programa (ceros y unos), el programador nos dirá que no ve nada emocional, y cuando le obligamos a revisar el programa fuente nos dirá, de nuevo, que sólo encuentra variables lógicas y valores permitidos para esas variables (verdadero o falso, «1» o «0»), y variables no numéricas tipo «ristras» («tristeza» se codifica con la letra F del teclado y «alegría» se codifica con la letra G) donde F y G terminan finalmente en sus códigos ASCII o hexadecimal, es decir, lo que entra al computador cuando el «robot emocional» con posible sintetizador de voz dice «estoy triste» es 46 y cuando dice «estoy alegre» es 47. Evidentemente, es difícil de sostener que estos dos números (46 y 47) hagan que en la máquina resida emoción alguna.

De nuevo nos parece evidente que en la visita de un informático a una «máquina emocional» no encuentra nada distinto de lo que encontró al visitar la «máquina inteligente» y, en ambos casos, nada diferente de lo que acepta un lenguaje de programación.

Finalmente, si en la visita a este robot emocional incluimos también un experto en «ingeniería del conocimiento», empezaría no estando especialmente interesado ni en la máquina física ni en el lenguaje de programación. Estaría preocupado por los modelos a nivel de conocimiento y por las tablas de semántica usadas para describir el significado para los humanos (usuarios e intérpretes de ese programa) de las entidades y relaciones de esos modelos en términos de las primitivas del lenguaje de programación. ¿Dónde está pues la inteligencia?, ¿dónde está la emoción?, ¿dónde están los significados, los propósitos o las intenciones? Están en el nivel de conocimiento y en el dominio del observador externo (el diseñador) que ha sido capaz de modelar los aspectos más relevantes de la inteligencia humana, tanto cognitiva como emocional, hasta un nivel de detalle tal que las últimas entidades del último de los modelos ya pueden identificarse con los símbolos del programa. Sin embargo, el precio que ha tenido que pagar es dejarse toda la semántica fuera de la máquina y añadírsela al interpretar los resultados de la computación. Es decir, la máquina sigue siendo lo que siempre fue: un instrumento de cálculo y control que potencia y complementa las facultades del usuario, pero que depende de él para volver a tener la semántica usual del lenguaje de comunicación entre humanos, el lenguaje natural. Aquí es donde reside la inteligencia y la emoción.

Para intentar seguir aclarándonos sobre lo que estamos diciendo, de hecho, cuando afirmamos que un robot es inteligente y tiene

propósitos o motivaciones en el medio o que muestra un comportamiento emocional, vamos a completar la descripción previa del robot en tres niveles (la máquina, el programa y el modelo) con otra descripción superpuesta y complementaria que nos obliga a distinguir entre las entidades propias de cada nivel (su dominio propio, DP) y las entidades que introduce el observador externo para explicar o comunicar a otros humanos los procesos de ese nivel. Este segundo dominio de descripción de un robot (de un cálculo en general o de un proceso fisiológico) es el «dominio del observador externo» (DOE).

La introducción de la figura del observador y la distinción entre una fenomenología y su descripción procede de la física (dos sistemas de referencia) y ha sido reintroducida y elaborada en el campo de la biología por Maturana (1975) y Varela (1979) y en la IA, la robótica autónoma y la computación en general, por Mira y Delgado (1987, 1995, 1997).

En el dominio propio (DP), que se ilustra en la columna derecha de la figura 7.3, todo lo que ocurre en los distintos niveles es causal y no arbitrario. Las relaciones espacio-temporales entre los valores de las distintas variables son relaciones de necesidad. No pueden ser otras que las que su estructura determina. Además, la semántica es propia e inherente al nivel. Estructura y función coinciden y ocurre «lo que tiene que ocurrir».

El DP del nivel físico es quizá el más evidente. En electrónica, los inversores invierten y los contadores cuentan, porque el circuito está construido así. Las leyes son las de la lógica. Lo mismo ocurre en el DP del nivel fisiológico. El potencial de membrana, los trenes de espigas, los transmisores sinápticos, son entidades propias del nivel, que se comportan «como tienen que comportarse», reaccionando ante perturbaciones de su medio con los cambios compensatorios que tienen impresos en su estructura.

El nivel de los símbolos en computación lo constituye el programa y ningún programa puede salirse de la sintaxis, la semántica y la pragmática del lenguaje de programación con el que ha sido escrito porque de lo contrario no sería aceptado por su compilador y, por consiguiente, no podría pasar al nivel físico. No podría ejecutarse. Lo que en el nivel físico eran niveles de tensión en circuitos digitales, ahora son valores de verdad (1 = verdadero, 0 = falso) en expresiones lógicas. Y ésa es la única semántica del nivel, la de su DP.

En computación en general y en robótica autónoma en particular (se le llame o no emocional a un robot), tiene sentido hablar del

DP del nivel físico (la máquina, los motores, las ruedas...) y del DP del nivel de los símbolos (el programa que calcula y/o controla, a través de servomecanismos, los movimientos del robot). Sin embargo, no tiene sentido hablar del DP del nivel de conocimiento (la «consciencia» del robot, la imagen reflexiva de sí mismo, su «yo»...). Es decir, sólo el observador tiene los tres niveles de descripción (máquina, símbolos y modelos) coexistiendo en su dominio propio.

Aquí, en el DP del observador, es donde aparecen claras y distinguibles las tres descripciones del robot y las relaciones intra nivel e interniveles. Es decir, los significados que asociamos a los símbolos y los símbolos que asociamos a las señales electrónicas y no debemos mezclar estas entidades porque de lo contrario la interpretación de la funcionalidad del robot y del programa que lo controla será confusa y, probablemente, errónea.

4. La inspiración biológica en robótica y computación

Curiosamente, una interpretación errónea de la computación basada esencialmente en olvidar su naturaleza instrumental ha dado lugar al paradigma dominante en la interpretación de lo cognitivo (isomorfismo entre las relaciones mente-cerebro y programa-computador) y lo emocional (robots «emocionales», máquinas sintientes que se enfadan, se alegran, tienen miedo, aman y odian), quedándose en muchos casos más cerca de los aspectos superficiales y anecdóticos, de interfaz, más propios del cine fantástico o del entretenimiento y los juguetes para niños que del auténtico camino científico-técnico.

Sin embargo, estamos profundamente convencidos del valor de la biología como fuente inagotable de inspiración para formular nuevos modelos y algoritmos de utilidad técnica. En particular, para diseñar nuevos robots, porque la robótica es el ejemplo más completo de aplicación de lo humano en computación. En efecto, un robot necesita «conocer» el medio en el que debe moverse y planificar su movimiento en ese medio para realizar una serie de tareas tales como navegación con objetivos, detección y manipulación de objetos o interacción con otros robots análogos y/o con humanos.

Para modelar y programar estas tareas y para construir después los sensores y efectores que hacen útiles esos programas (el «cuerpo» del robot) es evidente la utilidad de la biología. ¿Cómo podríamos imaginar un manipulador con más grados de libertad

y más eficiente que una mano? ¿Qué conocemos mejor que el sistema sensorial biológico para dotar a un robot de «visión», «audición», «tacto» o «propiocepción»? ¿Qué otros procedimientos de planificación de trayectorias en escenarios de alto y bajo nivel, conocemos que sean mejores que los biológicos? Éste es el viejo sueño de los griegos de mecanizar los procesos del pensamiento y la emoción (ahora decimos «hacer computables») que fue retomado en 1943 por Rosenblueth, Wiener y Bigelow (1943) y McCulloch y Pitts (1943), dando origen a la cibernética y a la biónica (J. Mira y R. Moreno-Díaz, 1984) y ha renacido recientemente con la búsqueda de «algoritmos genéticos», «arquitecturas evolutivas», «redes neuronales artificiales», «sistemas sensoriales neuromórficos», «robótica perceptual autónoma», «robótica emocional», «teatro robótico» y «robots intencionales».

Desafortunadamente no se ha usado la inspiración con el cuidado metodológico que merecía (niveles y dominios de descripción) y contabilidad clara (saber diferenciar el operar de un organismo o un robot de la descripción de su conducta) y se han olvidado los aspectos organizacionales y estructurales quizá más interesantes (autoorganización, cooperatividad, tolerancia a fallos, computación factorial, organización y uso de información no estructurada, homeóstasis y acoplo estructural como alternativa a la programación...).

La idea general es sencilla: no sólo podemos encontrar inspiración mirando a los circuitos de la máquina biológica, sino también observando su comportamiento global y reflexionando sobre los principios de organización y estructura que subyacen a esos comportamientos. Si somos capaces de formular estos principios podremos diseñar sistemas de cálculo que los incorporen. Pero no debemos distraernos en lo anecdótico, en la apariencia de lo biológico, ni olvidarnos de una frontera difícil de salvar que nos dice que «todo conocer depende de la estructura que conoce» (Maturana) y lo biológico está sobre estructuras vivas, mientras que lo computacional tiene que terminar tomando cuerpo sobre cristales semiconductores de silicio.

Si nos centramos ahora en la esfera de lo emocional (F. Mora, 1999) encontramos al menos los siguientes puntos de interés como fuente de inspiración para una robótica más avanzada:

1. Lo emocional es una forma de procesar información minimalista y rápida, asociada a procesos en tiempo real que tienen que ver con la supervivencia y que han mostrado su validez evolutiva.

2. Del estudio de las emociones se desprende la conveniencia de diseñar robots con dos arquitecturas gemelas (la «cognitiva» y la «emocional») de forma que el robot puede trabajar en «modo cognitivo» o en «modo emocional» y estos modos generales de conducta son mutuamente excluyentes.

Dicho en términos menos antropomorfos, en el «modo cognitivo» el robot usa métodos lentos de mayor precisión y refinamiento que operan en circunstancias «normales» y en el «modo emocional» el robot usa otros métodos mucho más rápidos y drásticos, de reflejo o cortocircuito que colorean a los anteriores y son dominantes y excluyentes cuando se detectan configuraciones de señales («estímulos») a los que el programador ha etiquetado como «importantes para la supervivencia».

3. El mecanismo de interacción entre estas dos arquitecturas gemelas es del tipo de «interacción lateral recurrente y no recurrente» con capacidad de aprendizaje por refuerzo, sensorio-sensorial o por condicionamiento clásico.

4. Las respuestas en «modo emocional» son de naturaleza estereotipada, no se calculan sino que se leen directamente de una memoria RAM o EPROM y se ejecutan. Esto sugiere la existencia en lo biológico y la conveniencia en lo artificial de una biblioteca de modos de reacción compensatoria planteados por primera vez al estudiar la formación reticular de los vertebrados superiores (W. S. McCulloch). Estos modos de respuesta están todos compuestos por el mismo repertorio de acciones elementales encadenadas, de forma diferente en función del foco de atención y la metadominantes. La información aferente y el estado interno controlarán la «decisión» del robot de permanecer en el «modo cognitivo general» o conmutar al «modo emocional». Después, ya dentro de este modo y de acuerdo con la categoría de la configuración de estímulos que dispara el cambio, se decide de nuevo el patrón de reacción compensatoria más adecuado. Todas las reacciones se agrupan en dos tipos (centrípeto y centrífugo), correspondientes al carácter «recompensante (de premio)» o «de castigo» de la situación.

5. Las emociones sugieren globalmente la conveniencia de desarrollar para robots avanzados un lenguaje rápido de «percepción», comunicación y control para emergencia en el que «la información constituye poder» (el equivalente artificial a las agresiones, o miedos o huidas, atracciones y afectos...) que entra en acción y es

dominante cuando ocurren determinadas configuraciones de estímulos.

5. El rigor de la física, la matemática y la computación en neurociencia

Hemos mencionado algunos puntos en los que el estudio de las emociones puede contribuir a la robótica y la computación. Veamos ahora qué podemos transportar en el otro sentido, es decir, cómo pueden contribuir las ciencias duras a una mejor comprensión del SN y de sus manifestaciones tanto cognitivas como emocionales.

El análisis de las redes neuronales y su correlación con la conducta puede mejorarse sustancialmente si se reflexiona sobre la metodología de niveles y dominios descrita previamente, sólo que ahora, al aplicarla al análisis de lo natural, debemos recorrerla de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda, haciendo neurofisiología inversa (J. Mira, 1996, 1998). Es decir, partiendo de una red neuronal e intentando recuperar el modelo. Este problema general de análisis se puede plantear en los siguientes términos:

— Dado un conjunto de circuitos y señales de los que conocemos parcialmente sus relaciones causales en el nivel biofísico y/o bioquímico, encontrar:

1.º Una formulación de las interdependencias causales de esas señales en el DP del nivel físico, usando las herramientas formales de la Teoría de Sistemas y las Matemáticas. Es decir, formular modelos computables sin salir del nivel físico.

2.º Un conjunto de símbolos neurofisiológicos (los «roles» que desempeñan las señales) que intervienen en la descripción de esos procesos al nivel de los símbolos y un conjunto de «algoritmos» que explique esas relaciones.

3.º Un modelo a nivel de conocimiento y en el DO, a partir de las cuales, el buen Dios y su aliada la evolución podrían haber diseñado una red neuronal funcionalmente análoga a la que estamos analizando.

En la figura 7.3 presentamos la trayectoria de la neurofisiología inversa sobre el esquema de niveles y dominios. Partimos del DP del nivel físico y queremos llegar al nivel de conocimiento

en el DO. Para ilustrar nuestro razonamiento vamos a usar un circuito de condicionamiento clásico como el propuesto por LeDoux en el estudio del miedo y su relación con la emoción (M. Beeman et al., 1995; J. E. LeDoux, 1995 y J. E. LeDoux y J. M. Fellous, 1995).

La estructura de cálculo asociada al comportamiento reflejo ilustra el problema del análisis porque se reproduce a nivel de comportamiento. Es decir, no es difícil establecer la analogía entre la descripción del cambio de conducta que experimenta un animal durante el proceso de condicionamiento y la descripción equivalente del funcionamiento de un circuito neuronal que puede soportar ese comportamiento. El arco reflejo realiza «computación acumulativa», permitiendo asociar configuraciones sensoriales neutras con otras relevantes para la supervivencia, acumulando las asociaciones espacio-temporales (lo próximo, lo análogo), abriendo vías temporales de asociación con patrones de respuesta y ampliando o extinguiendo estas vías resultado de la integración temporal entre percepción y acción.

El análisis comienza identificando el soporte anatomofisiológico con las técnicas usuales (bioquímicas, farmacológicas y moleculares; métodos morfológicos y fisiológicos de registros intra y extracelular, métodos combinados, etc.) (J. V. Sánchez-Andrés y C. Belmonte, 1995). La perspectiva de niveles y dominios nos aconseja distinguir claramente entre lo medido y lo interpretado, es decir, separando las señales y procesos del DP del conocimiento adicional usado en la formulación del modelo. Nos encontramos con un repertorio de señales y estructuras locales de módulos y esquemas de conectividad. Para el arco reflejo encontramos circuitos del tipo del de la parte inferior derecha de la figura 7.4. La presencia de señal en la vía E_i activa un patrón de respuesta R_i. Si coinciden los estados de actividad de la E_i con los de la otra línea E_j (en principio neutra en relación al patrón de respuesta R_j) y se acumula esta persistencia hasta un cierto valor umbral, la señal E_j también producirá R_i.

Hay un proceso de extinción siempre activo que desconecta funcionalmente R_i de E_j si no persiste la asociación (E_i, E_j).

Así, terminado el análisis del nivel físico parece evidente que necesitamos:

— Un lenguaje de señales neurofisiológicas (electrónicas, bioquímicas, biofísicas), con herramientas formales adecuadas para la

descripción de los potenciales de membrana, las espigas y los procesos de excitación-inhibición.

En el nivel físico, donde las señales son potenciales lentos o trenes de espigas, las coincidencias se modelan con productos y la persistencia con integrales, y podríamos escribir el siguiente modelo analógico:

$$R_i(t) = A_{ij} \cdot E_i(t) + K_2^i \cdot \underbrace{\left[\int_{t-T}^{t} E_i(\tau) \cdot E_j(\tau) \cdot d\tau \right]}_{A_{ij}} \cdot E_j(t)$$

$$R_j(t) = A_{ji} \cdot E_j(t) + K_2^j \cdot \underbrace{\left[\int_{t-T}^{t} E_j(\tau) \cdot E_i(\tau) \cdot d\tau \right]}_{A_{ji}} \cdot E_i(t)$$

Esta formulación analógica de los reflejos condicionados muestra cómo es la historia reciente de estímulos (coincidencias $E_i()$, $E_j()$, dentro del intervalo T), la que abre o cierra las vías de asociación entre estímulos y respuestas. Los coeficientes A_{ij} y A_{ji} son los responsables del aprendizaje, y se asocian a la «eficacia sináptica», pero nada sabemos de la semántica de los estímulos (R_i, R_j), salvo su carácter ordenado (a nivel de conocimiento) en una escala (dolor-huida, neutralidad, placer-atracción). Así termina la descripción del nivel físico en el DP. Si llamamos miedo, campanilla, comida, estímulo neutro o estímulo aversivo a las variables (E_i, E_j, R_i, R_j) ya estamos interpretando el experimento en el DO y a nivel de conocimiento.

Para subir el modelo de nivel y convertirlo en un modelo estructural a nivel de conocimiento tenemos que abstraer y generalizar, buscando los símbolos resultado de la abstracción de la variable física que lo soporta. Se puede pasar así de operaciones analíticas (tales como sumas o productos) a verbos de los que ese modelo analítico es sólo un caso particular, obteniendo así esquemas como el de la parte superior izquierda de la figura 7.4, que es una descripción en lenguaje natural del proceso:

«calcular condición-i», «calcular condición-j», «asociar espacio- tem-

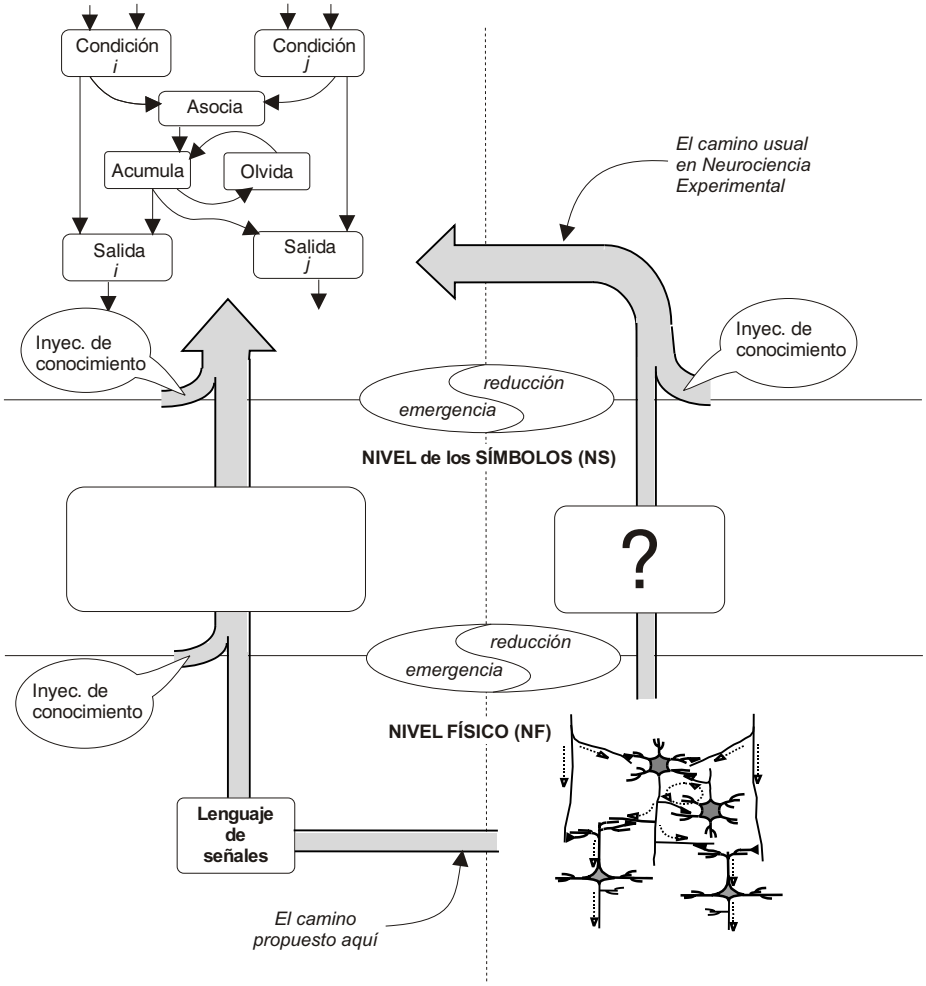

FIG. 7.4. Ilustración del uso del marco conceptual de «niveles y dominios» de descripción para establecer conexiones entre procesos anatomofisiológicos subyacentes y comportamiento en el caso del arco reflejo usado por LeDoux para estudiar la emoción. Evidentemente, cambiando el circuito del nivel fisiológico y el modelo esqueletal resultante, el marco es válido para cualquier otro diseño experimental en neurofisiología.

poralmente, i-j», «acumular-olvidar», «disparar patrón de respuesta-i», «disparar patrón de respuesta-j».

Donde «calcular condición-i» es una inferencia que representa todo el cálculo previo necesario para obtener el estado de actividad de la línea i. Este preproceso puede incluir desde la simple actividad directa de una modalidad sensorial hasta un complejo proceso de reconocimiento de caracteres.

El siguiente verbo del modelo es «asociar i-j» y tiene que ver con cualquier procedimiento que permita medir la vecindad espacio-temporal de dos símbolos neurofisiológicos. Es posible detectar distintos mecanismos de asociación (sumas, productos, modulaciones, coincidencias lógicas, etc.) responsables en el nivel físico de este proceso. Y lo mismo podríamos analizar el significado computacional del resto de los verbos («acumular», «olvidar», «disparar patrón R_i, R_j»), mediante procesos sinápticos o redes de interneuronas.

Si seguimos el camino ascendente en la figura 7.4 (en el sentido de la neurofisiología inversa), ahora tendríamos que formular el programa. Es decir, la descripción de la computación en términos de símbolos neurofisiológicos. Para ello nos hace falta:

— Nivel de los símbolos:
  Un conjunto de abstracciones desde el nivel de las señales fisiológicas, hasta el nivel de los símbolos neurofisiológicos. Estas abstracciones deben ser independientes de las implementaciones anatómicas concretas y de las señales que las codifican.

En computación no se pasa directamente de la electrónica digital al lenguaje natural sino a través del nivel intermedio de los símbolos usados por los lenguajes de programación. Sin embargo, no existen propuestas equivalentes en neurociencia para este nivel intermedio. Hay más datos que teorías integradoras. El simbolismo, en neurología y en computación, siempre nace en el dominio del observador externo. En el dominio propio sólo hay señales y tejido.

— Símbolos en el DP:
  Son: Configuraciones específicas de señales espacio-temporales (eléctricas, químicas y electrónicas), («llaves»), con un referente en el medio externo o interno del organismo, y las correspondientes es-

truc tu ras ana tomofi siológi cas («puertas» abier tas por esas «llaves»).

Actúan: Estas «lla ves» neuronales actúan como en laces dinámi cos y han sido adqui ri das (anatómi ca y funcional mente pro grama das) por la evolu ción y la genéti ca o por el apren di zaje. Repre sentan (sus ti tuyen) al re feren te exter no en todos los procesos de in for mación subsiguien tes.

„ Símbolos en el DO:

Designan:

a) Enti dades del medio re levan tes para la su per vi vencia.
b) Rela ciones mul ti modales y tem pora les entre estas enti dades.
c) Conceptua li zaciones pri marias (se ñales de alerta, homeósta sis...).
d) Reacciones compensatorias.
e) Estabili dad de la especie (símbolos sexua les, de agresión o escape..., descrip tores de neces idades inter nas, sueño, sed...).

Fi nal mente, para re cuperar el mo delo ni vel de conocimien to nos hace falta:

„ Ni vel de conocimien to:

Un nue vo con jun to de abstrac ciones, desde el nivel de los símbolos neurofi siológicos hasta el ni vel de conocimien to cuya ontología da lu gar a las descrip ciones en lenguaje natural de lo que llamamos «ac ti vi dad emocional» o «comporta mien to in teli gente». De nuevo, estas segun das abstrac ciones deben ser in dependientes del simbolismo y, a su vez, in dependien tes del ni vel fí sico.

Supongamos que damos por fi nali zado el aná li sis del ni vel fí sico, que ya sabemos todo lo referente a las se ñales y los opera dores que las transforman. Es decir, que disponemos de una teo ría neuronal completa a ni vel fí sico, de forma aná loga a como los físicos y los in genie ros electró ni cos co nocen la electró ni ca digital y la ar qui tectu ra de orde nadores. ¿Co nocería mos ya lo que está calculan do la máqui na?, ¿co nocería mos los procesos cogni ti vos emergentes de las redes neuronales?, ¿co nocería mos los procesos emocionales? Clara-

mente, no. Del solo conocimiento del nivel físico no se puede obtener la descripción de la computación en los otros niveles, porque un mismo modelo puede reducirse usando distintos algoritmos y programas y un mismo programa puede ejecutarse en máquinas diferentes. Así, la correspondencia no es biunívoca y al igual que se pierde conocimiento en la reducción, hay que inyectarlo en la interpretación. Es decir, cualquier intento de explicación de los procesos cognitivos y emocionales no puede basarse sólo en el funcionamiento de las redes neuronales, sino que necesita ser complementado, al menos por una clara comprensión de los símbolos y las entidades del nivel de conocimiento, en términos de cultura, historia, civilización y evolución en el medio.

6. Reflexiones finales sobre computación y emoción

Ahora que hemos visto la metodología de niveles y dominios usada para describir el conocimiento real asociado a toda computación (máquina, programa y modelo) y las dos descripciones complementarias que siempre existen y conviene distinguir (las especificaciones funcionales iniciales y lo que finalmente reside en la implementación), ahora digo que puede ser más fácil saber de lo que estamos hablando cuando alguien nos habla de un robot «emocional» o de una «máquina sintiente» o de lo que alguien dirá haber descubierto muy pronto: «la inteligencia emocional artificial». Para entonces, conviene recordar que no hemos encontrado evidencia alguna de que exista nada residente en la máquina ni en el programa que nos permita hablar de emoción. Sólo de control de movimientos coordinados bajo el control de un conjunto de servomecanismos. El resto, las etiquetas, ha sido añadido desde el exterior.

También hemos presentado algunas posibilidades de comunicación fructífera entre fisiólogos y profesionales de la computación, sin distracciones en lo anecdótico y superficial. Junto a lo expuesto en el apartado anterior cabría mencionar el uso de la computación para modelar procesos (como laboratorio virtual) y para el tratamiento de los datos experimentales, como es usual en cualquier laboratorio de neurofisiología.

Ahora sabemos que los significados no son computables sino que se quedan siempre en el dominio del observador, que los usará de nuevo al interpretar el comportamiento del robot. Así, el modelo lógico-matemático que subyace a todo programa (los operadores

f y g que enlazaban las variables formales x y m con la salida y) es independiente del significado y la causalidad que asociamos, a través de sensores y efectores más o menos antropomorfos, a esas variables. Lo mismo podemos decir que enlazan «agresión» con «miedo» y «huida» que «luz verde» y «carril no ocupado» con «avance». Es decir, el modelo computacional que subyace a términos tales como «alegría», «miedo», «dolor», «ansiedad», «motivación», «propósito» o «intención» es siempre un grafo, un autómata finito y un conjunto de tablas de variables lógicas. La aparente emocionalidad del robot nace de usar las mismas palabras para comunicarnos entre humanos que para etiquetar las variables de un programa, donde la causalidad es muy distinta.

Veamos un ejemplo adaptado de [10,11]. Supongamos que hemos sido contratados para diseñar un programa de interacción social de un conjunto de «robots emocionales». La primera ley que hemos detectado para evitar conflictos es la siguiente:

«Dos robots emocionales pueden estar juntos en una misma zona de la habitación si ninguno de ellos es un robot jefe y ambos tienen una expresión facial de felicidad o no la tiene ninguno de los dos.»

La figura 7.5 muestra la situación de esta especificación funcional en el nivel de conocimiento y dominio del observador y su correspondiente reescritura como modelo formal, primero dentro del nivel de conocimiento, donde todavía conserva las etiquetas y después en el nivel de los símbolos (más cerca del programa), donde hemos sustituido las etiquetas lingüísticas por meros símbolos, dejando claro en el dominio del observador cuál es la tabla de correspondencias ente estos símbolos (NC y DO) y sus significados formales (NC y DP).

En la primera reescritura del modelo obtendríamos:

$$\forall X\ \forall Y\ \forall Z_1\ \forall Z_2 \quad (X\ [a :: \{Y\}] \leftarrow X\ [b :: Z_1] \in c \wedge Y\ [b : Z_2] \in c \wedge \neg(X \in d) \wedge \neg(Y \in d) \wedge (Z_1 = Z_2)$$

Obsérvese que aquí todavía parece que estemos hablando de algo relacionado con la emoción porque para el humano que lo lee se produce, de forma prácticamente subconsciente, la asociación de las etiquetas (jefe, feliz...) con los significados de esas etiquetas

para otro humano que conoce el idioma, olvidando el punto crucial que es que ahora son etiquetas de un programa con la semántica de la lógica formal. Para aclarar esta situación sustituimos las etiquetas (robot, feliz, jefe...) por variables relacionadas con la teoría de conjuntos (variables a y b; signo de pertenencia; robots son conjuntos, x e y son elementos de un conjunto), obtenemos el siguiente modelo formal computacionalmente equivalente al anterior y, evidentemente, sin ningún «conocimiento emocional»:

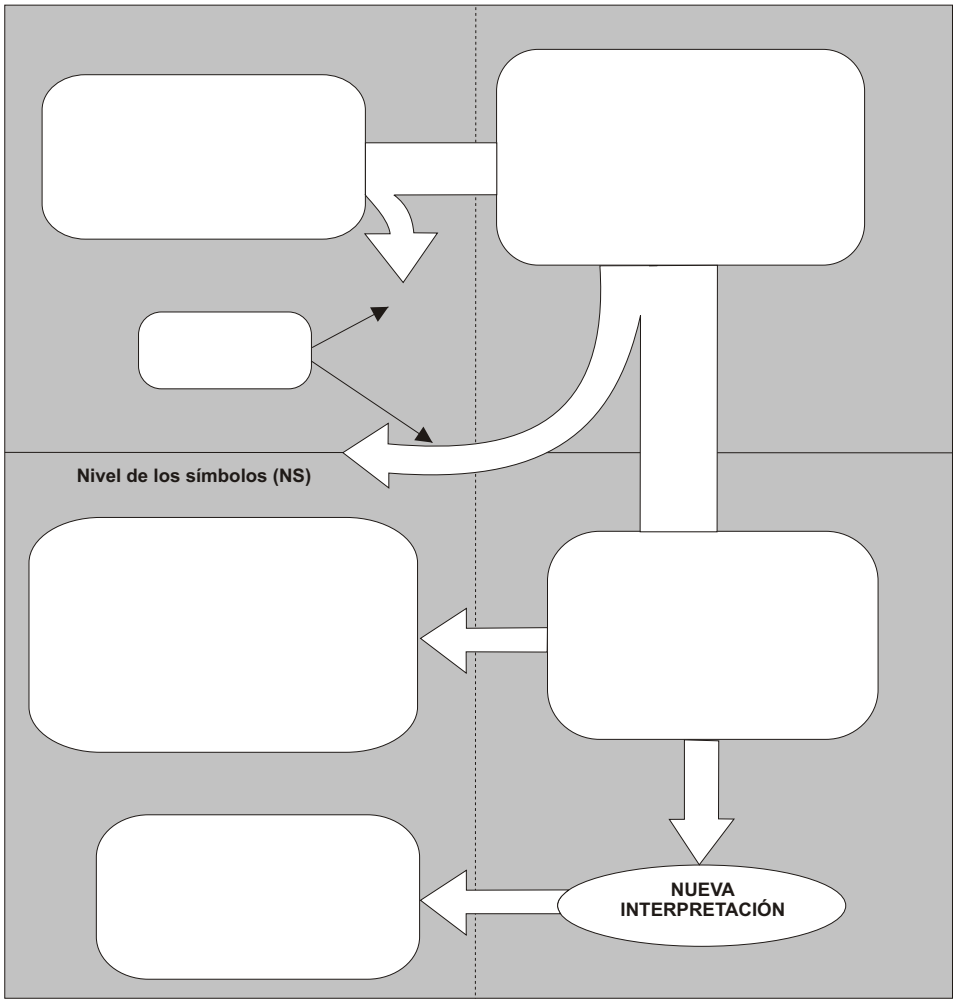

FIG. 7.5. Dos interpretaciones de un mismo programa. (Véase descripción en el tex-

$$\forall X\ \forall Y\ \forall Z_1\ \forall Z_2\ \ (X\ [\text{estar_juntos} :: \{Y\}] \leftarrow$$
$$X\ [\text{cara_feliz} :: Z_1] \in \text{robots_emociona-les} \wedge$$
$$Y\ [\text{cara feliz} : Z_2] \in \text{robots_emocionales} \wedge$$
$$\neg(X \in \text{jefes}) \wedge \neg(Y \in \text{jefes}) \wedge (Z_1 = Z_2)$$

Y todavía queda más evidente la distinción entre un programa y su interpretación si le pedimos a un ingeniero forestal su opinión acerca de este programa y su posible significado. Nos dice que para él, está claro su significado: se trata de un programa sobre compatibilidad de árboles en un invernadero:

«Dos árboles pueden estar juntos en un invernadero si ninguno de los dos es nocivo para las personas y si ambos son tropicales o no lo son ninguno de los dos.»

Es decir, no hay ninguna conexión entre el significado y la causalidad de los términos de «emoción», «jefe» y «felicidad» y sus correspondientes en el modelo formal. Todo lo que el observador de la interacción entre dos robots emocionales nos dice al describir el comportamiento de estos robots controlados por el modelo anterior está fuera de la máquina y del programa que, de hecho, controla a esos robots. Por eso creo necesario intentar eliminar hasta donde sea posible el uso de términos antropomorfos sacados de la psicobiología para describir entidades y relaciones del campo de la robótica, porque confunden a unos y a otros y nos distraen del verdadero trabajo interdisciplinario, serio y fructífero aunque menos espectacular.

Estudiemos conjuntamente la anatomía y la fisiología de los procesos que subyacen al comportamiento emocional y formulemos también conjuntamente los modelos computacionales adecuados permaneciendo siempre lo más próximo posible al fenómeno natural y usando las herramientas conceptuales, lógicas y matemáticas de las que disponemos, llamándolas por su nombre (variables lógicas y analógicas, conjuntos, integrales, derivadas, condicionales de control, grafos, diagramas de transición de estados, tablas, etc.) Después usemos estos modelos en simulaciones y en la planificación de nuevos experimentos y, finalmente, reflexionemos, de nuevo conjuntamente, sobre: a) la validez del conocimiento emocional como fuente de inspiración para el diseño de nuevos robots, y b) la validez de la robótica y la computación para la comprensión de los

resultados experimentales en el campo de la fisiología y la psicobiología de la emoción. Así y sólo así conseguiremos la fertilización cruzada y el beneficio mutuo que siempre ha caracterizado la interacción seria entre neurociencia y computación.

7. Agradecimiento

Agradezco el soporte de la CICYT a través del proyecto TIC-97-0604 en cuyo contexto se han realizado parte de los trabajos que aquí se mencionan.

8. Referencias bibliográficas

Álvarez, J. R.; Paz, F. de la y Mira, J. (1999): «On Virtual Sensory Coding: An Analytical Model of the Endogenous Representation», LNCS, 1607: 526-539 Springer-Verlag.

Beeman, M.; Ontary, A. y Monti, L. A. (1995): Emotion-Cognition Interactions, en M. A. Arbib (ed.), Handbook of Brain Theory and Neural Networks, The MIT Press, pp. 360-363.

Breazeal (Ferrell), C. y Velasuqez, J. (1998): «Toward Teaching a Robot •InfantŽ using Emotive Communication Acts», en Proceedings of 1998 Simulation of Adaptive Behavior, Workshop on Socially Situated Intelligence, Zurich, pp. 25-40.

Brooks, R. (1986): «A Robust Layered Control System for a Mobile Robot», IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 2, n.º 1, marzo, 14-23.

Brooks, R.; Breazeal, C.; Marjanovic, M.; Scassellati, B. y Williamson, M. (1998): «The cog Project: Building a Humanoid Robot», en C. Nehaniv (ed.), Computation for Metaphors, Analogy, and Agents, LNAI 1562, Nueva York, Springer, pp. 52-87.

Brooks, R. A. y Stein, L. A. (1994): «Building Brains for Bodies», Autonomous Robots, 1,7-25, Boston, Kluwer Accd. Pub.

Churchland, P. S. y Sejnowski, T. J. (1992): The Computational Brain, MIT Press.

Craik, K. (1943): The Nature of Explanation, Cambridge, Cambridge University Press.

Hawkins, H. y McMullen, T. A. (1996): «Auditory Computation: An Overview», en H. Hawkins et al. (eds.), Auditory Computation, Springer, pp. 1-14.

Herrero González, J. C. (1999): «Un modelo de correspondencias entre el nivel de conocimiento y el nivel simbólico para un conjunto básico de tareas genéricas», tesis doctoral, UNED, Facultad de Ciencias, UNED.

Herrero, J. C. y Mira J. (2000): «Causality Levals in SCHEMA: A Knowl-

edge Edition Interface», en J. Mira, A. del Po bil y M. Ali (eds.) (en prensa) IEE Pro ceeding-Soft ware Engi neering. Spe cial is sue on Soft-ware Reu se.
Kat hib, O. (1985): «Real-Time Obsta cle Avoi dance for mani pulators and Mobi le Robots», IEEE Inter natio nal Con ference on Robotics and Au - tomation, 25-28 de marzo, pp. 500-505, Saint Louis, Mis souri.
LeDoux, J. E. (1995): «In Search of an Emotional System in the Brain: Leaping from fear to Emo tion & Consciousness», en M. S. Gazzaniga, M. S. (ed.), The Cogni ti ve Neurosciences, The MIT Press, pp. 1049-1061.
LeDoux, J. E. y Fe llous, J. M. (1995): «Emotion and Com puta tio nal Neuroscience», en M. A. Arbib (ed.), Hand book of Brain Theory and Neu ral Net works, The MIT Press, pp. 356-359.
Lozano-Pérez, T. (1983): «Spatial Plan ning: A Con fi gura tion Spa ce Approach», IEEE Trans. on Computers, 32 (2), 108-120.
Luria, A. R. (1974): El cerebro en ac ción, Fonta nella, Bar celona.
Marr, D. (1982): Vi sion, Nue va York, Freeman.
Maturana, H. R. (1975): «The Orga ni zation of the Li ving: A theory of the Li ving Orga ni zation», Int. J. Man-Machine Studies, 7, pp. 313-332.
McCulloch, W. S. (1965): Embo diments of Mind, The MIT Press, Cam - brid ge, Mass.
McCulloch, W. S., y W. Pitts (1943): «A Lo gical Cal culus of the Ideas Immanent in Ner vous Activity», Bu lle tin of Mat hemati cal Bioph ysics, 5, pp. 115-133.
Mira, J. (1996): «Re ver se Neuroph ysiology: The •Embo diments of MindŽ», en R. Moreno-Díaz y J. Mira-Mira J. (eds.), Brain Pro cesses, Theories and Mo dels, Mass., The MIT Press, pp. 37-49.
„ (1998): «Ope raciones •Inte li gentesŽ en Sistemas Arti fi ciales: La Pers-pecti va de la Inte li gencia Arti fi cial en la Com pren sión del Sis tema Ner vio so», Re vista de la Real Aca demia de Me di cina de Cata lun ya, vol. 12, sup. 1. pp. 87-107.
Mira, J. (1999): «Inte li gencia ar ti fi cial, emoción y neu ro ciencia», Arbor CLXII, 640 (abril), pp. 473-506.
Mira, J. et al. (1995): Aspec tos básicos de la inte li gencia ar ti fi cial, Ma - drid, Sanz y To rres, pp. 485-575.
Mira, J. y Delgado, A. E. (1987): «Some Comments on the Antro pocentric View point in the Neu rocybernetic Met hodology», Proc. of the Seventh Inter natio nal Con gress of Cybernetics and Systems, vol. 2, Londres, pp. 891-895.
„ (1995): «Com puta ción neuronal avan zada: fun damentos biológicos y aspectos meto dológicos», en S. Ba ro y J. Mira (eds.), Com puta ción Neuronal. Cap. VI, Ser vi cio de Pub. e Inter cambio Cien tí fi co, Uni ver-sidad de Santia go de Com postela, pp. 125-178.
„ (1997): «Some Re flections on the Re la tions hips Bet ween Neuroscience and Computation», en J. Mira, R. Moreno-Díaz y J. Ca bestany (eds.),

Biological and Artificial Computation: From Neuroscience to Technology, LNCS, 1240, Berlín, Springer-Verlag, pp. 15-26.
Mira, J. y Moreno-Díaz, R. (1984): «Un marco teórico para interpretar la función neuronal a altos niveles», en R. Moreno-Díaz y J. Mira (eds.), Biocibernética: implicaciones en biología, medicina y tecnología, Madrid, Siglo XXI Editores, pp. 149-171.
Mora, F. (1999): «El cerebro sintiente», Arbor, CLXII, 640, abril, pp. 435-450.
Newell, A. (1981): «The Knowledge Level», AI Magazine, pp. 1-20.
Romo, J.; Paz, F. de la y Mira, J. (1998): «Incremental Building of a Model of Environment in the Context of the McCulloch-Craik•s Functional Architecture for Mobile Robots», Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1416, 339-352, Springer-Verlag.
Rosenblueth, A.; Wiener, N. y Bigelow, J. (1943): «Behavior, Purpose and Teleology», Philosophy of Science, 10.
Sánchez-Andrés, J. V. y Belmonte, C. (1995): «La metodología experimental en neurociencias: representaciones fragmentadas», en S. Barro y J. Mira (eds.), Computación neuronal, cap. III, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela, pp. 55-76.
Sigvar Strandh (1997): The History of the Machine, Nueva York, Dorset Press.
Stork, D. G. (ed). (1997): HAL•s Legacy: 2001•s Computer as Dream and Reality, Mass., The MIT Press.
Varela, F. J. (1979): Principles of Biological Autonomy, Nueva York, North-Holland.
Wiener, N. (1947): Cybernetics, Nueva York, MIT Press-J. Wiley.

CAPÍTULO 8

CEREBRO, EMOCIÓN Y NATURALEZA HUMANA

por FRANCISCO MORA

1. Otra vez a vueltas con la naturaleza humana. — 2. La emoción, ese ingrediente universal del cerebro vivo. — 3. Las ventanas plásticas de la emoción: un paréntesis. — 4. Emoción y valores morales. — 5. El sentimiento de infinito. — 6. ¿Hacia dónde vamos con nuestra naturaleza? — 7. Agradecimientos. — 8. Referencias bibliográficas.

> La naturaleza humana es un abstracto, un concepto sin cuerpo real extraído tras parar el tiempo y el espacio evolutivo.

1. Otra vez a vueltas con la naturaleza humana

Decía Wilson (1978): «Las respuestas emocionales humanas y las prácticas éticas más generales basadas en ellas han sido programadas en un grado importante a través de la selección natural tras miles de generaciones. Precisamente, el desafío de la ciencia es tratar de medir la rigidez de esas fuerzas causadas por la programación, encontrar sus orígenes en el cerebro y decodificar su significado a través de la reconstrucción de la historia evolutiva del hombre.»

Lo que parece que ya no escapa a nadie es que el hombre, su

mente y todo ese inmenso mundo de leyes y normas que rigen sus relaciones nacen de su cerebro. Precisamente ello hizo preguntarse a Young (1978) si podríamos aprender algo acerca de la naturaleza humana a partir de las ciencias del cerebro. «¿Es posible „señalaba Young„ que el conocimiento del cerebro pueda llegar a ayudarnos en el estudio de la filosofía y la teoría del conocimiento, la apreciación estética (véase el reciente libro de Semir Zeki, Inner Vision, 1999), los juicios morales, la conciencia, la ética y también la religión?» Para aquellos que ante esta perspectiva cierran sus ojos, Young añade: «Los científicos nos sentimos incómodos sobre las grandes cuestiones tales como las reflexiones sobre el significado de nuestra existencia. Pero creo que los hechos científicos, propiamente contados, pueden ayudar a eliminar esa cierta incomodidad. Incluso creo que pudiéramos ser capaces, a través del estudio de nuestro cerebro y nuestra propia naturaleza, de descubrir las bases de esta necesidad de buscar significados y verdades.» Yo también lo creo. Y esta creencia justifica las modestas reflexiones que siguen.

Hace algún tiempo, centrando la pregunta sobre la naturaleza humana bajo las perspectivas de las ciencias del cerebro actuales señalaba yo que el hombre ya no se concibe como un ser dual constituido por un espíritu y el cuerpo que lo alberga. La concepción actual del hombre enmarca al hombre como «uno», no dividido en dualismos, producto de millones de años de evdución y consustancial y pariente de sus congéneres los animales. Del hombre como producto de un tra siego constante de información a lo largo y ancho de su cerebro; entre su cerebro y su cuerpo y entre éstos y el medio que le rodea. Una concepción del hombre y su dignidad no en tanto que concebido como espíritu hecho a imagen y semejanza de Dios, ni como materia informe (concebida ésta en forma burda, simple y estática) enraizada en la nada, sino como hombre «real», «uno». Quizá, y aun cuando pareciera paradójico, la grandiosidad del ser humano nace posiblemente de ese reconocimiento. De esa nueva concepción en la que cerebro y cuerpo se identifican con historia personal y esta última con filogenia y ontogenia (Mora, 1996).

La cuestión ahora está en reflexionar sobre esa realidad y desentrañar los códigos cerebrales, adquiridos a lo largo de millones de años, que hacen del hombre esa realidad inviolable, que vemos todos los días. A esto ayuda nuestro pensar teórico, ciertamente, pero definitivamente son las ciencias del cerebro las que se adentran más y más deprisa en el conocimiento esencial. Y ello no se puede ignorar. Efectivamente, desentrañar los códigos de nuestro

cerebro que nos hacen «cervales» y que durante tantos años nos han ayudado a sobrevivir quizás nos ayude a entender nuestra naturaleza más primitiva y a modificarla acorde a esa creciente nueva realidad (en contraste a la primitiva) que llamamos cultura y en la que empieza a vivir el hombre actual. Recientes conferencias internacionales dan testimonio de esa preocupación por los conocimientos adquiridos a través de las neurociencias y su enmarque en las concepciones clásicas del hombre. Léanse sino sólo los títulos de las conferencias internacionales: «Neurociencias y el espíritu humano» o aquella otra «Las neurociencias cognoscitivas y la acción divina», esta última auspiciada por el Vatican Observatory (Mora, 2000a).

A los neurocientíficos no les gusta mucho hablar de religión o moralidad en relación a su trabajo, lo que desgraciadamente les lleva a divorciar esos temas de sus reflexiones sobre la naturaleza del hombre y su cerebro. Pero ello cada vez resulta más difícil ante la nueva perspectiva de la concepción del hombre en un marco de conocimientos mucho más amplio que en épocas de pensamiento anteriores (Mora, 2000a, b). De hecho, en un comentario reciente en Nature Neuroscience (1998) titulado «¿Amenazan las Neurociencias los valores humanos?», se ofetaban algunas reflexiones críticas acerca del desafío que representan los nuevos conocimientos del cerebro para las concepciones «clásicas» del libre albedrío y los sistemas de creencias tradicionales.

Con todo ello, ¿qué papel le corresponde a esa pieza del rompecabezas de la naturaleza humana que llamamos emoción? Lo analizado brevemente en el capítulo primero de este libro ya nos indica su papel central no sólo en la conducta humana (en términos muy generales) sino en los aspectos más esencialmente «espirituales» del hombre a los que da fundamento biológico al anclarlos en el mantenimiento de su propia existencia. Hasta las propias percepciones del mundo cobran vida humana sólo cuando son tamizadas por nuestros propios y únicos registros emocionales. De hecho, la propia individualidad humana, en buena medida, procede de ese acúmulo de experiencias registrados en los circuitos emocionales del sistema límbico y ahora empezamos a saber que en otras partes del cerebro (Adolphs, 2000). Experiencias que son registro vivo de tiempo a lo largo de nuestra vida, desde el propio nacimiento, si no ya antes, desde el propio claustro materno.

2. La emoción, ese ingrediente universal del cerebro vivo

Es difícil concebir el ser humano sin emociones y sentimientos. Es más, yo diría que es imposible porque emociones y sentimientos son ingredientes intrínsecos a cualquier análisis de su naturaleza. Nadie dudaría que «emocionarse», «sentir» algo, es casi consustancial con decir «humano». Precisamente, la connotación de «inhumano» o «no-humano» se da en todas aquellas conductas •fríasŽ que, al menos aparentemente, están alejadas del mundo de las emociones y los sentimientos.

Cuando a un ordenador se le plantea un problema de cálculo o de otro tipo como es por ejemplo que escriba en pantalla en chino cuando yo tecleo en inglés o simplemente le ordeno que escriba en pantalla lo que yo le dicto verbalmente, nos parece lógico que lo haga asépticamente, sin otro componente añadido que aquel de la fría traducción de una cosa en otra. Incluso es así cuando un ordenador (nuevos programas complejos lo hacen) es capaz de reconocer caras que, por su expresión, el ordenador reconoce y nos indica que «esa persona está contenta o triste». Podemos imaginarnos incluso un ordenador que tras encenderlo por la mañana proceda a escanear nuestra cara y por la configuración de la misma nos diga «Buenos días, Paco, te encuentro triste esta mañana». Pero yo creo que todos sabemos que en ninguno de todos esos casos el ordenador va más allá de la traducción de una cosa en otra sin, en absoluto, «saber» y menos «sentir» lo que hace. El ordenador es «inhumano» porque ni sabe lo que dice cuando oímos «te encuentro triste esta mañana» ni por su puesto «siente» lo que dice, ya que el ordenador simplemente procesa una información que es traducida en una salida (pantalla o voz) acorde a una codificación o programa. Al ordenador le falta un ingrediente básico. Aquel adquirido por el ser humano a lo largo de millones de años de evolución, eso que llamamos «conciencia» y que todavía no sabemos bien qué es en términos neurobiológicos. Y es a ese proceso cerebral que llamamos conciencia que las emociones, comunes a casi todos los seres vivos (más organizadas y complejas a medida que más se complica el cerebro en la escala evolutiva), afloran en sentimientos conscientes en el ser humano. Efectivamente, los sentimientos son eso, emociones que yo sé (soy consciente) que las tengo. Y esto último, hasta donde sabemos, sólo lo tiene el hombre. Independientemente, por tanto, del grado en el que tal sentimiento haya existido en todos los predecesores del ser humano, lo cierto es que hoy y ahora los sentimientos son

posiblemente el ingrediente más universal de la naturaleza humana.

3. Las ventanas plásticas de la emoción: un paréntesis

El cerebro emocional es el que permite el encendido de la conducta. No hay planes que se estructuren en el abstracto y la frialdad de la corteza cerebral, como señalaba Wilson (1998). Hay un estado emocional que alumbra, ilumina y calienta la concepción de un plan cortical. El calor emocional es como la energía que permite el ensamblaje coherente de todos los ingredientes de una planificación futura, sea ésta realizar un viaje o escribir un libro. Sin el fuego emocional previo los planes son desintegrados, mal coordinados y sin mantenimiento ni realización en el futuro. A lo largo de toda su vida, el ser humano necesita de otros seres humanos para construir, modelar y controlar ese fuego emocional que le permita ser «humano» (Mora, 2000b). Pero también a lo largo de esa vida el hombre tiene unos períodos en la construcción de su cerebro emocional que son más importantes que otros. A esto último lo llamamos VENTANAS PLÁSTICAS o PERÍODOS CRÍTICOS DURANTE EL DESARROLLO DEL CEREBRO. Con ello se quiere indicar que el desarrollo del ser humano y su cerebro es como un coche que se transporta a lo largo de la cadena de montaje y en cada punto a lo largo de la misma se le añade una nueva pieza. Pieza que requiere ser montada en ese punto de la cadena y no en otro. Sin ella, el coche sale defectuoso. En relación a la emoción y los sentimientos, los experimentos del matrimonio Harlow son ilustrativos, al demostrar que la deprivación temprana de afecto produce en los primates efectos desastrosos para el futuro desarrollo emocional del individuo. Efectivamente, Harry y Margaret Harlow (1958) estudiaron monos rhesus recién nacidos separados de sus madres durante seis meses a un año y comprobaron que los monos desarrollan conductas aberrantes como, por ejemplo, estar siempre en un rincón de la jaula arrollados sobre sí mismos y retorciéndose constantemente. Cuando estos monos fueron puestos en una jaula en compañía de otros monos no mostraron ninguna interacción social (lucha o competencia) ni juego ni interés sexual alguno.

Los estudios de Spitz en los años cuarenta (1945) sobre el valor de la interacción social temprana para el desarrollo emocional también son ilustrativos al respecto. Este autor hizo un estudio comparativo a lo largo de varios años entre niños abandonados (cuidados

por monjas en un orfelinato) y niños criados en una guardería anexa a una prisión de mujeres y cuidados por sus propias madres (ciertas horas al día). Estos estudios mostraron, tras los tres primeros años de vida, que los niños criados en el orfanato comparados con los criados por sus propias madres presentaban un mayor retraimiento, poca curiosidad y gran facilidad para las infecciones. La conclusión final de este estudio es que una reducción severa del contacto social y emocional del ser humano en edades tempranas tiene un resultado catastrófico para su desarrollo emocional.

El habla y las habilidades para la música, las matemáticas y la conducta social son también fenómenos que se adquieren plásticamente en períodos claves del desarrollo. El habla, por ejemplo, es el fenómeno mejor conocido. Si un niño no ha oído hablar nunca a sus semejantes antes de los siete-ocho años, nunca después podrá hablar o, desde luego, lo hará con muchas dificultades (Mora, 2000b).

Todo esto, en definitiva, nos indica que hay períodos tempranos en el desarrollo en los que, dependiendo de las funciones de que se trate, pueden quedar éstas impedidas para siempre si la información ambiental, en nuestro caso emocional, no moldea el cerebro de modo adecuado.[1]

Otro período clave en el desarrollo del cerebro emocional es el de la adolescencia. Es éste un período de profundas transformaciones en la personalidad y la conducta del individuo. En ellas se suceden grandes cambios biológicos como consecuencia, entre otros, de los cambios hormonales de la pubertad. Todo ello se sucede, a su vez, de cambios en el cerebro y de cambios en su interacción con el medio ambiente físico, emocional y social. Período de gran fragilidad psicológica, en donde los pilares, hasta entonces firmes de la relación familiar y también social se cimbrean. Período, en muchos individuos, de entrega a las banderas del altruismo y la solidaridad, que contrasta, al menos aparentemente, con la entrega a los radicalismos y a las conductas agresivas, violentas e irracionales. Período, pues, de referentes nuevos, tanto emocionales como sociales, y en el que el entorno familiar y social juegan un papel crítico en conformar y adquirir ese «yo» individual con el que el ser humano se convierte en adulto maduro e independiente.

También en este período se suceden cambios importantes en el cerebro humano. Pero quizá sea éste, el período de la adoles-

1. Véanse los cambios profundos que se suceden en el cerebro humano en este período de la vida en Mora y Peña, 1998.

cencia, el peor conocido para la neu rociencia. Sí sabemos, por ejemplo, que du ran te este perío do hay una pro fun da re modela- ción de la corteza cerebral (de aso ciación, lo que in cluye la corte- za prefron tal) responsables, en par te, de to das las funciones su- perio res (in telectua les) del in di vi duo hu mano. En estas áreas frontales hay por ejem plo una pérdida de su número to tal de neu ronas, compara das con otras áreas de la cor teza (moto ras) y tam bién que las neu ronas que per manecen aumentan mu cho más de ta maño y vo lumen comparadas de nue vo con esas otras áreas motoras (Mora y Peña, 1998). Otros cam bios de este perío- do incluyen no sólo la mie li ni zación de esas áreas de aso ciación sino tam bién y de modo sobre salien te la apa ri ción y desarro llo de cier tos siste mas de neu rotrans mi sores (corte za prefron tal) (Mora y Peña, 1998).

Propongo que esa «ventana plástica emo cional» que se abre al- rededor de la pubertad y la adolescencia es como un im prin ting ce - rebral del mar co so cial de re feren cia del in di vi duo en ese perío do de desarro llo. El que, pre via la dis posición cerebral de ese mis mo in di- vi duo (genéti ca, educati va y emocional), le im pri me «a fuego» una conducta, un modo de pro cesar la información por su cerebro y una forma de actuar en el mundo.

Conocer los mecanismos por los cuales opera el cerebro emocio- nal en estas edades tempranas y cómo procesa y codifica ese com- plejo in gredien te de carga genéti ca, carga ambien tal bio lógica, edu- cación y cul tu ra en el con texto de una in vasión hor monal crí ti ca que «abre» el cerebro y fija nuevos pa trones de conducta «indivi- dual» es absolu ta mente im prescin di ble para conocer las raí ces bio- lógicas de la con ducta emocional hu mana.

4. Emoción y va lores mora les

En la au toesti ma del hombre, to mada ésta como patrón bá sico de su realización per sonal, hay una es cala de valores. El hombre se realiza, se hace a sí mismo, al canzando logros de bienestar a través de normas éticas que él mismo ha ido creando con el tiem- po. Na die discutiría que es tas normas son los pi lares que sostie- nen su convi vencia pacífi ca y civi li zada con los demás. Y a poco que pensemos en ello veremos que estas normas, estos va lores mo- ra les, tie nen su asien to úl ti mo en los mecanis mos más pri mi ti vos de nuestro cerebro: los me canismos de las emociones. ¿Qué quiere

decir sino «hoy siento la satisfacción del trabajo bien hecho»?, ¿qué significado tiene la alegría y profunda satisfacción por el éxito intelectual, deportivo, social en definitiva, de un hijo o allegado?, ¿qué es todo ello sino una expresión emocional, un sentimiento? Parece claro que en el fondo de todas estas conductas subyacen las recompensas y las emociones. O. Wilson (1978) lo señala así: «The values are defined to a large extent by our most intense emotions: enthusiam and sharpening of the senses from exploration; exaltation from discovery; triumph in battle and competitive sports; the restful satisfaction from an altruistic act well and truly placed; the stirring of ethnic and national pride; the strenght from family ties; and the secure biophilic pleasure from the nearness of animals and growing plants.»

Y todo esto, ¿qué es en última instancia sino una lucha por la supervivencia, esta vez a un nivel más alto de bienestar? Porque a la postre, ¿qué son los logros del éxito social, sea éste dinero o reconocimiento, sino esa íntima y emocional satisfacción de algo que nos permite vivir mejor? En cualquiera de los casos, todo nos lleva a ver que la raíz de aquello que pareciera tener su origen en la excelsitud de la espiritualidad humana tiene su anclaje, o al menos así lo parece, en los más básicos y elementales procesos cerebrales de la supervivencia del individuo y de la especie.

5. El sentimiento de infinito

El hombre experimenta un sentimiento último. Y éste no es el sentimiento que Damasio (1999) llama sentimiento no basado en emociones o sentimiento de vida. Es quizá un sentimiento más profundo, un sentimiento de perplejidad entre «estar vivo y concreto» y «vivo y diluido» en ese río de espacio y tiempo que es el Universo. Un sentimiento que yo me atrevería a llamar de infinito. Un sentimiento que se experimenta cuando el hombre en su soledad, mirando hacia ese infinito en el que pierde su vista y, a veces, su sentido de existencia, encuentra en el recogimiento un sentimiento de religiosidad, de dilución serena en ese Universo. ¿Qué insufla en su cerebro ese sentimiento?

Si nuestro cerebro «crea» en parte el mundo físico que vemos. Si nuestro cerebro «crea» el mundo de las cosas y los demás, que son a fin de cuentas el fundamento de nuestra propia existencia, ¿en qué medida no es nuestro propio cerebro el creador de Dios?

Cuenta Ramachandran (1999) en un reciente li bro una conversación telefóni ca que mantu vo con la fi lósofa nor teameri cana Patri cia Chur chland acer ca del experi mento que hizo un psi cólogo canadien se llamado Mi chel Persinger. Persinger, uti li zando un esti mu lador mag néti co trans craneal, estimuló parte de sus ló bulos temporales y refirió asombrado que por primera vez en su vida sintió a Dios. Esta descripción, si no fue ra por el acto de au toesti mu lar se con una nueva tecnología no in vasiva, no es del todo sorpren dente. El ló bulo tem poral, en par ti cular el ló bulo tem poral izquierdo y sus pa tologías, ha sido aso ciado por los neurólogos, desde hace tiem po, con experien cias re li giosas de sus pacientes. En par ti cular, ata ques epilépti cos con fo cos en esta área del cerebro se acom pañan de experien cias de in ten sa re li giosidad y espi ri tuali dad. Senti mien tos que van desde la experien cia de un in ten so éxta sis hasta la de sespera ción más pro fun da. En mu chos pacientes, además, estas experien cias «de incendio senti mental» o «éxtasis» les lleva a una pro funda re ligiosidad el res to de su vida.

Algu nos pacientes con estas experien cias espi ri tua les tan profundas señalan: «Por fin lo en tiendo todo. Éste es el mo mento que he esperado toda mi vida. De pronto todo tie ne sentido.» Y también: «Por fin he pe netra do en la au tén ti ca natu ra leza del cosmos.» «Me parece iróni co „se ñala Ramachandran„ que esta sensación de iluminación, esta convicción ab soluta de que por fin se les ha revelado la Ver dad, se deri ve de estruc tu ras lím bi cas especiali zadas en emociones, y no de las áreas cerebra les del pensamien to ra cional, que tan or gullo sos están de su ca pacidad de discernir lo ver dadero de lo falso.»

Ramachandran se pregunta ade más: «¿Cómo se explican los in ten sos arrebatos de éxta sis re li gioso que experi mentan los pacientes con ata ques del lóbulo tem poral o su afirmación de que Dios ha bla con ellos?... o de la luz divina que ilumina to das las cosas o verdad defi ni ti va que está comple ta mente fue ra del al cance de las mentes normales, demasiado inmersas en el aje treo de la vida cotidiana para dar se cuenta de la belleza y la grandeza de todo ello?» Ciertamente, es posible que esto sólo sea una patología, como lo puede ser un pro ceso esquizofrénico (aun cuando esto último no parece ser el caso, dado que los pa cientes comunican y tie nen sano contacto con la rea lidad y con los de más). Añadido a ello: ¿por qué estas alucinaciones sólo ocurren cuando es tán afectados los ló bulos temporales?, ¿por qué adoptan esta for -

ma concreta?, ¿por qué estos pacientes no alucinan con otras cosas?

Es interesante a este respecto el sentimiento profundo que sobre Dios tienen muchos seres humanos. Es un sentimiento gratificante y liberador. Dios no se entiende, dicen, Dios se siente. En tanto que todo ser humano, desde los albores de la conciencia, se enfrenta a esa pregunta última de sentido a su existencia, uno se pregunta si el cerebro en los últimos millones de años no ha ido remodelando sus circuitos e incorporando la potencialidad, que llevado en acto por la cultura, hace tan universal ese sentimiento de lo sobrenatural. Como pudiera ser el lenguaje, por ejemplo. Y de ser ello así y sabiendo que la evolución biológica sólo selecciona a lo largo del tiempo funciones o circuitos del cerebro (u otras partes del organismo) que son, en última instancia, útiles para la supervivencia biológica, ¿qué utilidad última, qué servicio de supervivencia presta al ser humano el sentimiento de lo sobrenatural, de la religiosidad, de Dios en definitiva?

6. ¿Hacia dónde vamos con nuestra naturaleza?

¿En qué medida todos estos conocimientos, viejos y nuevos, nos ayudarán a volar más libres y depender menos de esos mecanismos inconscientes que nos atan y nos conducen por las vías trazadas por millones de años de evolución? No puedo evitar que cuando reflexiono sobre este tema, siempre quedo sorprendido, casi sin poder avanzar, ante la enorme fuerza e influencia que las emociones siguen teniendo en la conducta humana, a pesar de la gran lucha, que el hombre, a lo largo del tiempo, ha tenido que hacer para arrancar pequeñas parcelas de racionalidad a esa inmensa pradera inconsciente que es lo irracional. Y aun así hoy, incluso en nuestro mundo «civilizado», el mundo de nuestra Europa, sigue primando la comunicación primitiva, irracional, inconsciente, entre los hombres. Las guerras, los brutos nacionalismos, la reacción agresiva y violenta en las parejas, los hijos, los demás, etc., ¿por qué ello sigue siendo así? ¿Por qué seguimos arrastrando códigos tan primitivos en nuestro cerebro sin ser capaces de modificarlos?

Mucho se dice acerca de la agresividad como mecanismo innato (genético) y la violencia (medio ambiente) como añadido cultural en

el cerebro humano (Sanmartín, 2000). Y se añade, además, como posible receta terapéutica, que debe ser un cambio en la cultura actual y la aparición de una nueva cultura de paz la que interrumpa ese correlato de agresividad (mecanismo natural de supervivencia) con violencia (mecanismo de destrucción). Soy profundamente pesimista. Y no atisbo a ver, bajo ninguna perspectiva, que tales previsiones no sean o vayan más allá de las puras palabras y que como tales sean un juego malabar muy alejado de la verdadera conducta que se pretende modificar.

A la larga pienso que esta problemática sólo puede ser resuelta por un cambio (físico, genético) en el funcionamiento del cerebro humano. Cambio como producto de un salto cualitativo, si se quiere evolutivo, del cerebro, lo que implica la transmisión genética de tal cambio a generaciones posteriores. Si tal cambio no ocurre, el destino del hombre y su propia destrucción podrían incluso ser predecibles.

¿Qué justificaría hoy hablar de un salto genético que cambie la estructura del cerebro humano? ¿Se puede seguir pensando en una evolución biológica del cerebro humano? ¿Y si tal cosa pudiese ocurrir, en qué dirección ocurriría?

Hoy empezamos a saber que a los circuitos cerebrales que codifican para la conciencia solamente afloran una mínima parte del procesamiento cerebral que lleva a los procesos mentales. Esto incluye a los sentimientos.

Precisamente, ¿podrían ocurrir saltos evolutivos (no culturales) con la aparición de mayores niveles de conciencia capaces de sacar a la luz todos aquellos procesos emocionales e irracionales que dominan de modo inconsciente al hombre?, ¿pudiera ser éste un camino evolutivo todavía abierto al hombre de hoy? De suceder ello, la humanización seguiría por la vía de ser cada vez más consciente de los viejos mecanismos que elaboran nuestros instintos y emociones, desenmascarando su significado y sus códigos y por ende adquiriendo la capacidad de reconvertirlos. Quizá esto último sólo requiriese de saltos que produzcan, no un cambio en el volumen (espacio) del cerebro pero sí de los códigos de tiempo y funcionamiento de sus circuitos. ¿Podrá tal cosa suceder? No sería ni extraño ni gratuito. Tales cosas, reconvertir una función en otra sobre estructuras preexistentes del cerebro, ya parece haber ocurrido muchas veces a lo largo de la evolución (véase la nota 2 en el primer capítulo de este libro). ¿Dará tiempo (tiempo de evolución) a que tal cosa ocurra, dado el proceso destructivo que sobre la Tierra tiene

nuestra civilización? Y añadido a estas preguntas, otras: ¿sería este aumento de la conciencia del hombre verdaderamente útil para el propio devenir y la propia supervivencia? O acaso ¿no sería su propia destrucción al decodificar (surgiendo a su conciencia) los mecanismos irracionales, la fuerza más primigenia, motivadora, emocional, que le ha mantenido vivo, precisamente a costa de su falta de conciencia?

7. Agradecimientos

Agradezco a la doctora A. M. Sanguinetti y a J. S. Mora la lectura y crítica de este manuscrito.

8. Referencias bibliográficas

Adolphs, R.; Damasio, H.; Tranel, D.; Cooper, G. y Damasio, A. (2000): «A role for somatosensory cortices in the visual Recognition of Emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping», J. Neurosci., 20: 2683-2698.

Damasio, A. (1999): «The feeling of what happens», Londres, William Heinemann.

Editorial (1998): «Does Neuroscience threaten Human Values», Nature (Neuroscience), 1: 535-536.

Harlow, H. F. (1958): «The nature of love», Am. Psychol., 13: 673-685.

Mora, F. (1996): «Neurociencias: una nueva perspectiva de la naturaleza humana», en F. Mora (ed.), El cerebro íntimo, Barcelona, Ariel.

„ (2000a): «The Brain and the Mind», en M. G. Gelder, J. J. López-Ibor y N. Andreasen (eds.), The New Oxford Textbook of Psychiatry, Oxford University Press.

„ (2000b): «Genes, medio ambiente y cerebro», en J. M. Segovia de Arana y F. Mora (coords.), Constitución genética y factores ambientales en medicina, Madrid, Farmaindustria.

Mora, F. y Peña, A. (1998): «Desarrollo cerebral y adolescencia», en J. M. Segovia de Arana y F. Mora (coords.), Sociopatología de la adolescencia, Madrid, Farmaindustria.

Ramachandran, V. S. y Blakeslee, S. (1999): Fantasmas en el cerebro, Madrid, Debate.

Sanmartín, J. (2000): La violencia y sus claves, Barcelona, Ariel.

Spitz, R. A. (1945): «Hospitalism. An inquiry into the genesis of psychiatric conditions in early childhood», Psychoanal. Study Child, 1: 53-74.

„ (1945): «Hos pitalism. A fo llow-up re port of in vesti gation des cri bed in Vol. 1 (1945)», Psychoanal. Study Child, 2: 113-117.
Wil son, E. O. (1978): On Hu man Na tu re, Cam brid ge, MA, Har vard Uni- ver sity Press.
„ (1998): Con silien ce, Nueva York, Alfred A. Knopf.
Young, Z. J. (1978): Pro gramms of the Brain, Oxford, Oxford Uni versity Press.
Zeki, S. (1999): Inner Vi sion, Oxford, Oxford Uni ver sity Press.

GLOSARIO

Amígdala. Estructura cerebral en forma de almendra formada por un conjunto de núcleos de características histológicas diferentes. Está situada en el seno del lóbulo temporal. Forma parte, junto al hipotálamo, septum, hipocampo y otras estructuras del sistema límbico, de los circuitos que participan en la elaboración de la emoción y motivación y en el control del sistema nervioso autónomo o vegetativo.

Aprendizaje. Proceso que realiza un organismo con la experiencia y con el que se puede modificar permanentemente su conducta. Está íntimamente asociado a los procesos de memoria. Conlleva cambios plásticos en el cerebro que hoy se creen relacionados con la actividad sináptica: Potenciación e Inhibición a Largo Plazo.

Aprendizaje activo. Esfuerzo consciente que se realiza durante el proceso de aprendizaje. Contrasta con el proceso de Aprendizaje Pasivo.

Aprendizaje de evitación. Adquisición o aprendizaje de una respuesta cuya finalidad es evitar un refuerzo o estímulo negativo (aversivo). Por ejemplo un shock eléctrico.

Aprendizaje instrumental. Proceso de aprendizaje (con refuerzo positivo o negativo) por el que el animal debe realizar una respuesta que requiere la manipulación de un instrumento o palanca. Por ejemplo apretar una palanca para recibir alimento o evitar la llegada de un shock eléctrico.

Área diana. Zona donde actúan las drogas de abuso en el cerebro, reconstruida en base a la cartografía de las regiones donde se mantiene la autoestimulación intracraneal.

Autoestimulación cerebral. Fenómeno que consiste en que un animal aprieta una palanca (o desarrolla cualquier otra conducta operacional) en orden a estimular ciertas áreas de su propio cerebro a través de electrodos crónicamente implantados.

Castigo. Refiere a todo procedimiento por el cual una respuesta es seguida de un hecho aversivo (refuerzo negativo).

Circuito cerebral de recompensa. Circuito implicado en las propiedades de refuerzo positivo de las drogas de abuso.

Circuitos neuronales. Conjunto de neuronas y conexiones que interconectadas entre sí codifican una función o parte de una función.

Circuitos sinápticos. Sinapsis que forman parte de circuitos locales en una parte bien definida del cerebro o de un ganglio.

Codificación. En Neurobiología se refiere al mensaje en forma de patrones de descarga y frecuencias de potenciales de acción con los que se transfiere información de unas áreas a otras del SNC.

Conducta. Cualquier acto motor, por tanto observable, del organismo.

Conducta instrumental. Conducta que, ante un estímulo determinado, requiere de la manipulación de un instrumento para obtener una respuesta.

Confluencia de los sistemas opioide y cannábico. El núcleo de la amígdala establece un punto de confluencia muy relevante. Este hecho se ha constatado con múltiples drogas de abuso, como el etanol, morfina, psicoestimulantes, y, más recientemente, con los cannabinoides.

Consciencia. Estado de un animal o persona que le permite el desarrollo de una conducta de interacción coherente con el mundo externo.

Corteza cerebral. Capa neuronal de la superficie externa cerebral del hombre y organismos superiores. En el hombre su superficie total es de unos 2.200 cm^2 y su espesor oscila entre 1,3 y 4,5 mm, con un volumen de 600 cm^3. Filogenéticamente esta estructura de 6 capas aparece en los mamíferos y se denomina Neocorteza e Isocorteza. Más antigua filogenéticamente es la Allocorteza que posee una estructura de 3 capas y al que pertenecen el archipallium, paleopallium y rinencéfalo.

Corteza cingulada. Parte medial de la corteza cerebral que forma parte del sistema límbico.

Corteza de asociación. Áreas de la corteza cerebral no directamente relacionadas con el procesamiento de información primaria sensorial y motora.

Corteza frontal. Refiere a toda la corteza del lóbulo frontal, lo que incluye todo el polo anterior de los hemisferios cerebrales desde la cisura de Rolando.

Corteza prefrontal. Corteza de asociación situada en la parte más rostral del lóbulo frontal. Su definición y límites neurofisiológicos vienen dados por las proyecciones del núcleo dorsomedial del tálamo. Se subdivide en diversas otras áreas: corteza prefrontal orbitaria y dorsal (en el primate) o medial dorsal y orbitaria (en la rata).

Curiosidad. Ingrediente de la emoción, posiblemente nacido con los mamíferos, hace unos cien millones de años. La temperatura corporal y cerebral constante y por tanto independiente de la temperatura ambiente permitió al mamífero romper las ataduras que le mantenían esclavo a su estrecho ecosistema, aumentó el tamaño y peso de su cerebro e irguió su cuerpo sobre el suelo. El mamífero es, en efecto, y por naturaleza, un animal curioso. Y el fuego que mantiene constante esa curiosidad es la emoción (Gisolfi y Mora, 2000).

Curiosidad sagrada. Fenómeno que tiene su forma de expresión máxi-

ma en el hombre. El hombre explora lo desconocido, desmenuza, indaga desde que siente el primer mordisco intelectual de una parcela por conocer. La curiosidad, el interés, o el simple deseo de alcanzar un objetivo son factores críticos que promueven y facilitan las conductas de aprendizaje y la retención y consolidación de las tareas aprendidas.

Deseo, libido o apetito sexual. Difícil de definir de un modo universalmente satisfactorio. Una descripción operativa sería la de un estado subjetivo de insatisfacción, de intensidad variable, que mueve a realizar actos sexuales, preferentemente con el objeto del deseo (por lo general otra persona concreta) para aliviarse. Se genera en el cerebro e incluye importantes elementos afectivos y cognoscitivos.

Dopamina. Neurotransmisor del grupo de las catecolaminas (contienen un grupo catecol y otro amino). Se sintetiza a partir del aminoácido tirosina por la enzima tirosina hidroxilasa. Se encuentra en varias vías neuroquímicas del cerebro (vías nigrostriatal, mesolímbica y mesocortical).

Down, síndrome de. Enfermedad heredodegenerativa que se produce por una anormalidad cromosómica que ocurre en la madre cuando los cromosomas del ovum se forman por reducción tras división, produciéndose una triplicación o trisomía del cromosoma 21. Se caracteriza por una serie de rasgos somáticos típicos y una deficiencia mental más o menos profunda.

Drogodependencia. En términos neurobiológicos, se refiere a aquellos mecanismos (neuroquímicos y neurofisiológicos) por los que un individuo ingiere una droga de una manera reiterada.

Efectos de las lesiones cerebrales sobre la respuesta sexual. Las disfunciones sexuales son frecuentes como secuela de lesiones cerebrales relativamente amplias de causa degenerativa, traumática, isquémica, tumoral o infecciosa.

Emoción. Reacción conductual y subjetiva producida por una información proveniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos.

Estímulo. Agente activo (interno o externo) con capacidad para producir una respuesta en un sistema vivo.

Estímulo aversivo. Estímulo cuya terminación conduce a un aumento de la probabilidad de respuestas que conducen al rechazo o huida de dicho estímulo.

Estímulo condicionado. En el condicionamiento clásico, se refiere al estímulo que llega a avocar una respuesta que por sí mismo dicho estímulo no es capaz de producir.

Estímulo no condicionado. Es el estímulo que normalmente provoca una respuesta no condicionada. Por ejemplo el shock es un estímulo no condicionado que evoca siempre un reflejo de retirada.

Estímulos primarios. Aquellos que provocan las respuestas emocionales básicas para la supervivencia.

Estrés. Reacción general del organismo ante una gran variedad de estímulos, generalmente de amenaza para el mismo, que pueden ser psicológicos, sociales, físicos, etc. Selye en 1936 describió estas reacciones como Sistema General de Adaptación con cambios orgánicos caracterizados por tamaño de las glándulas suprarrenales, involución del timo, disminución del tamaño de los órganos linfoides y úlceras gastroduodenales.

Fases de la respuesta sexual fisiológica. Excitación, «Plateau» o Meseta (estado de intensa excitación sostenida), Orgasmo y Resolución. Estas fases fueron posteriormente revisadas desde la experiencia clínica, incorporándose el Deseo Sexual como importante componente independiente.

GABA (Ácido gamma-aminobutírico). Aminoácido ampliamente distribuido en el SNC.

Glutámico, ácido. Ácido alfa-amino glutárico ($COOH\text{-}CH\text{-}(NH_2)\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}COOH$). Participa en el almacén metabólico de la neurona (reacciones de transaminación, ciclo de Krebs) y como neurotransmisor en sinapsis excitatorias. Neurotransmisor que media las sinapsis de transmisión rápida y plasticidad neuronal.

Hipocampo. Circunvolución situada en la región anteromedia del lóbulo temporal, que resulta de la internalización, en los mamíferos, de un córtex arcaico desarrollado en reptiles y mamíferos primitivos. Esta archicorteza se compone principalmente de dos estructuras: giro o fascia dentada y el cuerno de Ammon. Consta de tres capas (molecular, granular y polimorfa). Estructura fundamental en el registro de diferentes tipos de memorias.

Hipotálamo. Estructura localizada por debajo del tálamo y por encima del quiasma óptico y de la silla turca que participa en la regulación de los sistemas neurovegetativo y endocrino. Forma parte fundamental de los circuitos de control neural de la ingesta de alimento, agua, sexualidad y temperatura.

Hormona. Sustancias liberadas a la circulación sanguínea o líquido intersticial por glándulas de secreción interna y que alcanzan las células u órganos donde producen sus efectos. Son mensajeros químicos. La hormona puede ejercer un efecto sobre la propia célula productora (autocrino), sobre las células del inmediato entorno (paracrino) o en células alejadas (endocrino).

Imprinting. Término anglosajón de uso corriente en español, que podría traducirse por impresión o huella. Se refiere a la observación del fenómeno por el cual animales recién nacidos tienden a fijarse conductualmente a una persona, animal u objeto en movimiento si éste es el primer estímulo que observan.

Inteligencia. Concepto abstracto con muchos grados o categorías. Po-

dría definirse como la capacidad de utilizar la información que un determinado sistema u organismo posee para actuar con eficacia en su medio ambiente.

Inteligencia artificial. Realización de programas de computador o de máquinas que imitan el modo humano de resolución de problemas. Es la capacidad o aptitud de una máquina para realizar funciones así llamadas inteligentes.

Inteligencia emocional artificial. Concepto centrado en torno a la llamada robótica emocional y mucho más cargado de términos antropomorfos que la IA cognitiva.

IQ. Abreviatura anglosajona para Cociente Intelectual (Intelligent Quotient).

Juego. Concepto escurridizo para el que algunos psicólogos y biólogos llegan a esa conclusión de que no se puede estudiar científicamente, porque no es posible encontrar rasgos o características comunes a conductas tan diversas que lo representan, tales como el golpear del sonajero de un bebé y la partida de ajedrez de dos adultos.

Lenguaje. Conjunto de sonidos con un significado mediante el que el hombre comunica lo que piensa o siente. Es el ejemplo más importante de la lateralización cerebral.

Matemática. Parte de la ciencia que a partir de determinados presupuestos desarrolla sus teorías sin más apoyo que el razonamiento lógico.

Mecanismos cerebrales de la respuesta sexual. El comportamiento sexual puede ser activado por diversos estímulos, tanto de origen externo (visuales, auditivos, táctiles, olfatorios, etc.) como intracerebral (fantasías, recuerdos, emociones, etc.), combinándose con frecuencia varios de ellos en diversa proporción. Su procesamiento por el cerebro se traduce en el estado motivación al de deseo o apetito sexual. La generación de dicho estado y su traducción en la respuesta sexual fisiológica requiere de la acción integradora de diversas áreas cerebrales: corticales, límbicas, hipotalámicas y troncoencefálicas. Para ello utilizan una variedad de neurotransmisores, cuya alteración o manipulación farmacológica puede tener importantes consecuencias sobre la conducta sexual.

Mecanismos neurofisiológicos de la respuesta sexual. Se considerarán sucesivamente tres niveles de integración: periférico, espinal y cerebral. Los dos primeros intervienen esencialmente en los fenómenos consumatorios, es decir, en la producción de la Respuesta Sexual, mientras que los mecanismos cerebrales son especialmente relevantes para los aspectos apetitivos, como el desarrollo del deseo sexual y el inicio de su expresión conductual.

Memoria. Capacidad de evocar respuestas aprendidas previamente.

Memoria a corto plazo. Memoria que retiene temporalmente información (minutos-horas). Tipo de memoria previo a su transformación en

memoria a largo plazo. La información de este tipo es accesible inmediatamente a la conciencia.

Memoria a largo plazo. Memoria duradera, en algunos casos de por vida.

Memoria activa. Concepto que se refiere a un tipo de memoria cuya información se mantiene mientras es procesada. Este tipo de memoria resulta afectada por la lesión de la parte dorsolateral de la corteza prefrontal.

Memoria asociativa. Capacidad de recordar un suceso en el que se ha asociado las variables de espacio (localización del suceso), tiempo (tiempo variable transcurrido desde el suceso) y aspecto simbólico del mismo (un determinado suceso y no otro de determinadas características). Lesiones del hipocampo producen déficit de estas características.

Memoria computarizada. Información que se almacena alterando el estado de una larga serie de componentes mecánicos o eléctricos, usualmente por cambios esencialmente on/off. El «significado» de la información y dirección de cada punto de pende por tanto del programa empleado por el operador.

Memoria, consolidación. Es el proceso mediante el cual la memoria a corto plazo es convertida en memoria a largo plazo.

Memoria declarativa. Memoria que expresa experiencias pasadas con referencia a lugares (acontecimientos con referencias espacio-temporales).

Memoria icónica. Memoria de lo muy cercano, menos de 1 segundo, de gran precisión y rápido decaimiento.

Memoria semántica. Memoria, no temporal, relativa a vocabulario y conceptos.

Mente. Es un concepto impreciso que refiere al conjunto de atributos de la persona durante la experiencia consciente como pensar, sentir y la misma consciencia del yo. Para muchos pensadores y científicos actuales su naturaleza es material y se refiere a la expresión de la función cerebral.

Motivaciones para el comportamiento sexual humano. Motivos, que se pueden combinar en proporciones muy variables: a) procreación («sexo reproductivo»), b) logro de placer e intimidad afectiva («sexo recreativo»); c) como medio para lograr una multitud de otros fines («sexo instrumental»).

Narcosis. Depresión inespecífica, generalizada y reversible de la excitabilidad y actividad neuronal.

Narcóticos. Sustancias que inhiben el SNC y son capaces de producir narcosis o estupor.

Naturaleza humana. Todo el espectro de predisposiciones y conductas que caracterizan la especie humana. En esencia, y en lo que se refiere a las neurociencias, este concepto se centra principalmente en si ésta es material y espiritual o sólo material.

Neurociencia. Disciplina que estudia el desarrollo, estructura, función, farmacología y patología del sistema nervioso.

Neuropsicología. Disciplina que estudia los procesos psicológicos en base y correlación a los procesos neuroanatómicos, neuroquímicos y neurofisiológicos del cerebro.

Neurosecreción. Proceso de liberación de una sustancia secretoria de las terminales axónicas de ciertas células nerviosas.

Neurotransmisor. Sustancia endógena que se encuentra almacenada en la terminal axónica (sinaptosoma) de una neurona, capaz de ser liberada por potenciales de acción y alterar la polaridad de la neurona con la que está en inmediato contacto.

Pautas del comportamiento sexual humano. Son diversas y complejas, con una marcada variabilidad en las etapas iniciales (cortejo), aunque se acepta que hay algunos patrones virtualmente universales, resistentes a las barreras transculturales.

Pensamiento. Potencia o facultad de imaginar, considerar o discurrir. Uso de programas lógicos para responder cuestiones sobre la información que llega desde los órganos de los sentidos o desde fuentes internas.

Placer. Experiencia subjetiva producida por la satisfacción de alguna necesidad de significado intelectual o emocional.

Plasticidad. Cambios producidos en el sistema nervioso como resultado de la experiencia (aprendizaje), lesiones o procesos degenerativos. La plasticidad se expresa como modificación de las sinapsis, proliferación dendrítica o axonal y cambios en las densidades o dinámica de los canales iónicos.

Plasticidad sináptica. Aumento o disminución de la cantidad de sinapsis, fuera del programa genético, dependiendo de la eficiencia funcional y activaciones que tengan.

Potenciación a largo plazo. Aumento y facilitación de larga duración de la transmisión sináptica producida tras una estimulación breve pero de alta frecuencia. Descrita en el hipocampo y otras estructuras cerebrales con alta concentración de receptores NMDA. Actualmente se le considera una posible base neurobiológica de la memoria.

Problema cerebro-mente. Problema filosófico y científico que trata de la relación entre procesos cerebrales y procesos mentales.

Procesamiento en paralelo. Teoría que postula que el procesamiento de información en el sistema nervioso central se realiza por unidades separadas y en paralelo (interacciones excitatorias e inhibitorias en cada unidad).

Programa. En Neurobiología, se refiere a la serie de signos codificados en áreas y circuitos del sistema nervioso central que indican las acciones a realizar por el ser vivo.

Programa computarizado. Serie de signos (en algún lenguaje) que hace que el ordenador realice una secuencia lógica de cálculo y mediante un algoritmo responde preguntas determinadas.

Programas de refuerzo. Distintos diseños o programas en los que a lo largo del tiempo y para la realización de una conducta se otorgan los refuerzos o recompensas.

Psicología cognoscitiva. Disciplina dedicada al estudio del conocimiento humano, sus componentes, sus orígenes y su desarrollo (percepción, memoria, aprendizaje, lenguaje, etc.) tras postular un sistema de estados internos (programas) controlados por un sistema de procedimientos computacionales. El objetivo final es lograr un conocimiento global de la organización funcional del cerebro humano.

Recompensa. Es todo elemento o estímulo que asociado a una conducta determinada hace que ésta aumente la probabilidad de que se repita.

Red asociativa. Tipo de red neuronal artificial más simple.

Red de alto orden de complejidad. Se define como aquel tipo de red neural consistente en tener una salida de sus unidades como el producto ponderado de las entradas que reciben filtrada o determinada por una serie de funciones no lineales.

Red neural artificial simple. Red neuronal constituida por tres niveles de unidades interconectadas. Un primer nivel constituido por unidades de entrada, otro segundo por unidades ocultas o intermedias y un tercero por unidades de salida.

Red neural artificial: coeficiente de ponderación. Magnitud que se aplica a cada conexión en las unidades de una red.

Red neural artificial: función. Depende principalmente de los coeficientes de ponderación de cada contacto y de la función de transferencia especificada para cada unidad.

Red neural artificial: función de transferencia. Es la sumatoria de las entradas (peso) a una unidad de la red y su transformación en una determinada función de salida de la unidad. Tal función de transferencia puede ser lineal, de umbral o sigmoide.

Red neural recurrente. Red neural artificial que tiene incorporadas conexiones de retroalimentación lo que le permite manejar secuencias temporales de entradas.

Redes neurales artificiales. Redes simuladas por el ordenador constituidas por unidades de entrada de información (input units), unidades intermedias o de segundo nivel (hidden units) y unidades de salida (output units). Las unidades se conectan de modo que el primer nivel hace contacto con el segundo y éste con el último nivel de salida. A cada contacto se le puede dar una determinada fuerza (o peso) de contacto (strength of weight). Siguiendo este patrón general de interconexiones se pueden construir redes neurales con diferente número de unidades, conexiones y fuerza o grado de conexión entre ellas y transformar así vectores de salida tras ser los primeros procesados por la red.

Refuerzo. Programa o procedimiento por el que una respuesta es seguida de una recompensa o un castigo (en este caso altera la probabilidad de que tal respuesta vuelva a repetirse.

Respuesta sexual (RS). Conjunto de cambios neurofisiológicos y hormonales que acompañan a la conducta sexual y que son característicos de cada especie animal. En el humano sano, aun con gran variabilidad, sus manifestaciones fisiológicas son relativamente predecibles. Se asocian a alteraciones del estado de consciencia y sensaciones características que pueden ser sumamente placenteras.

Robótica emocional. Transporte del conocimiento emocional (lo que fisiólogos, médicos, biólogos y psicólogos saben sobre el comportamiento emocional en animales y hombres) al campo de la robótica y la computación el conocimiento emocional. Inversamente, se pretende ayudar a comprender la fenomenología asociada a la esfera emocional real (la de los seres biológicos) construyendo robots autónomos que mimeticen algunos aspectos externos y anecdóticos (de apariencia) del comportamiento emocional.

Sensación. Percepción consciente de un estímulo físico o químico con sus características de espacialidad, temporalidad, modalidad e intensidad.

Serotonina. Neuromodulador indolamina encontrado en los núcleos del rafe. Se han identificado una serie de receptores postsinápticos.

Sistema límbico. Concepto genérico de delimitaciones anatómicas y funcionales imprecisas. Se refiere a aquel conjunto de áreas cerebrales a las que se les supone formando circuitos que codifican el mundo personal de la emoción (placer, rabia, agresividad, etc.) y la motivación (ingesta de agua y alimentos, actividad sexual, etc.). Éstas incluyen: Giro del Cíngulo, Giro parahipocámpico, Hipocampo, Amígdala, Septum, Núcleo Accumbens, Hipotálamo y Corteza orbitofrontal).

Telencéfalo. Parte anterior del prosencéfalo, que desarrollado formará la corteza de los hemisferios cerebrales, núcleos telencefálicos y subcorticales, ganglios basales (amígdala y estriado) y lóbulos olfatorios.

Vías neuroquímicas. Se refiere a las vías neuroanatómicas (localización del cuerpo neuronal, trayecto axonal y localización de terminales) en el SNC en las que se conoce (parcialmente) el neurotransmisor químico que sintetizan y liberan en sus terminales axónicas o presinápticas. Hoy se conocen múltiples vías mediadas por catecolaminas (dopamina, noradrenalina y adrenalina), serotonina, acetilcolina, histamina, neuropéptidos y aminoácidos neurotransmisores.

ÍNDICE ANALÍTICO

A

Amígdala, 29, 30, 32, 33, 42, 44, 45, 47, 62, 65, 66, 67, 71, 72, 79, 98-99, 101, 103, 140, 142, 146, 205, 206, 213
Antropomorfismos en robótica emocional, 153-185
Aprendizaje, 23, 32, 42, 43, 58, 61, 63, 98, 118, 122, 123, 124, 135, 136, 137-138, 142, 143, 148, 150, 156, 157, 159, 172, 175, 178, 205, 207, 211, 212
Área diana, 61, 205
Áreas cerebrales de la RS identificadas por experimentación animal, 79, 85, 95-96
Ataque, 20, 22, 25, 125, 128, 129, 197
Atención, 20, 25, 38, 41, 44, 48, 50, 63, 64, 108, 127, 143, 172
Autoestimulación cerebral, 30, 205

B

Bases moleculares del aprendizaje, 135, 136-141
Bienestar, 20, 22, 39, 79, 84, 195, 196
Binding problem, 32

C

Características del juego, 115, 116-118, 130
Castigo, 22, 31, 32, 35, 37, 38, 39, 43, 45, 46, 48, 51, 52, 81, 172, 205, 212
Cerebro disminuido, 133, 136, 147, 148
Cerebro límbico, 30
Circuito cerebral de recompensa, 205
Circuitos neurales, 39, 108
Codificación cerebral de la emoción, 13, 28-31, 32, 145, 205, 209, 213
Codificación cerebral de la motivación, 13, 28-31, 32, 145, 205, 209, 213
Códigos cerebrales, 13, 19, 28, 190
Códigos cerebrales de la emoción, 19, 28-31
Computación en robótica emocional, 153, 161, 171, 173-179
Computación y emoción, 155, 157, 179-183
Conciencia, 135, 146, 147, 192, 198, 199, 200, 210
Conducta adictiva, 58, 62, 71, 72
Confluencia del sistema opioide y cannábico, 71, 206
Consolidación de la memoria, estadios de, 139, 140

Convergencia de acción de las drogas de abuso, 57, 69-71
Corteza cingular, 29, 106
Corteza prefrontal, 30, 32, 33, 44, 48, 99, 104-105, 108, 143, 195, 206, 210
Craving, 63, 67
Curiosidad, 19, 25, 26, 28, 143, 194, 206
Curiosidad sagrada, 207

D

Definición del juego, 13, 113, 115-120, 209
Deseo, 58, 63, 65, 72, 79, 81, 82, 83, 84, 89, 90, 94, 101, 102, 108, 116, 121, 143, 148-149, 207, 208, 209
Dopamina, 29, 31, 41, 70, 71, 100, 108, 207, 213
Drogas de abuso, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 205, 206

E

Efectos de las lesiones cerebrales sobre la RS, 79, 101-102, 207
Eje límbico, 59
Emoción, 13, 17, 19-34, 35, 38, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 52, 55, 57, 58-61, 77, 94, 104, 107, 133, 144-145, 147, 148, 155-157, 161, 167, 168, 171, 174, 179-183, 187, 189, 191, 192-196, 205, 206, 207, 213
Emoción artificial, 155-157
Emoción consciente, 21, 22, 23, 27, 43, 192, 199
Emoción y curiosidad, 19, 25
Emoción y refuerzo, 57, 58-59
Encendido emocional, 25
Estado adictivo, 67, 69, 71, 72
Estado aversivo, 57, 59, 62, 63, 67, 69, 72, 175, 205, 207
Estado emocional, 22, 42, 46, 58, 66, 142, 193
Estado emocional de bienestar, 22
Estado emocional de malestar, 22
Estímulos apetitivos, 57, 62, 63, 64, 71
Estímulos condicionados, 42, 43, 67
Estímulos de castigo, 22, 32, 43, 52
Estímulos placenteros, 20, 22, 27, 38
Estímulos primarios, 20, 208
Estímulos recompensantes, 20, 27
Excitación, 79, 81, 82, 83-85, 91, 92, 101, 102, 103, 106, 175, 208
Expectación, 25
Explicación funcional del juego, 115, 118-120
Expresiones guturales específicas, 24

F

Factores emocionales, 135, 141-144
Factores motivacionales, 58
Filtros del genoma humano y drogas de abuso, 19, 63, 70

G

GABA, 65, 70, 98, 208
Glutamato, 137

H

Halago personal, 22
Heptálogo de las emociones, 19, 27-28
Hipocampo, 29, 40, 43, 59, 60, 65,

70, 99, 140, 141, 142, 205, 208, 210, 211, 213
Hipotálamo, 29, 30, 31, 32, 33, 41, 59, 61, 65, 79, 88, 96, 100, 101, 102, 103, 205, 208, 213
Hormonas y función sexual, 79, 83, 84, 85, 86-90, 97
Huida, 20, 173, 175, 180, 207

I

IA: Inteligencia Artificial, 156, 157-161, 164, 209
IA cognitiva, 155, 157, 161, 209
Imágenes mentales, 20, 31
Información sensorial, 19, 30, 31-33, 46, 99
Ingeniería del conocimiento, 158, 159, 168
Inspiración biológica en computación, 155, 156, 157, 170-173
Inteligencia cognitiva artificial, 155, 157-162
Inteligencia emocional, 52, 159, 161, 179, 209
Interfaces emoción-razón, 45

J

Juego, el, 13, 115-131
Juegos sociales, los, 115, 125-126

L

Lenguaje corporal, 20, 23, 31, 33
Lenguaje emocional, 24, 28, 29
Lenguaje verbal, 20
Lenguaje «noético», 24
Lucha inútil, 24

M

Malestar, 22
Mamíferos, 25, 57, 58, 59, 87, 88, 108, 117, 124, 125, 129, 206, 208
Marcadores somáticos, 44
Marcaje emocional, 37, 44-46
Mecanismos cerebrales de la RS, 81, 82, 83, 84, 85, 90, 91, 92, 104, 105, 107, 109, 213
Mecanismos de compensación, 135, 141-144
Mecanismos de interacción, 60, 71, 81, 124, 125, 126, 127, 135, 141- 144, 147, 156, 162, 170, 172, 180, 182, 183, 193, 194, 206
Mecanismos neurofisiológicos de la RS, 79, 83, 90-107, 209, 213
Mecanismos neuroquímicos reguladores de la RS, 92, 97, 100
Medio ambiente, 20, 30, 31, 32, 194, 199, 209
Memoria a corto plazo, 132, 139, 143, 209-210
Memoria a largo plazo, 44, 45, 139, 143, 210
Memoria de las emociones, 43
Memoria emocional, 37, 42-43, 142
Metodología común en neurociencia y computación, 155, 157, 162-170
Métodos conexionistas en IA cognitiva, 159
Métodos probabilísticos en IA cognitiva, 159
Miedo condicionado, 43, 46, 142, 144, 167, 173, 174, 175, 180
Mímica facial, 24
Modificación del comportamiento por castigo, 37, 38, 39, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52
Modificación del comportamiento por recompensa, 22, 27, 30, 31, 32, 35, 37, 38, 39-42, 43, 45, 46-51, 52, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 172, 196, 205, 212

N

Nervios craneales, 137
Neurociencia y computación, 155, 157, 161, 162-170, 183
Nivel de descripción en computación, 162
Nivel fenomenológico en neurociencia, 162
Noradrenalina, 29, 31, 92, 100, 103, 108, 213

O

Orgasmo, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 103, 104

P

Pasión por comprender, 19, 26
Pensamiento artificial, 160
Placer y dolor, 37, 38
Planificación de futuro, 33
Plasticidad, 70, 137, 142, 144, 208, 211
Plasticidad sináptica, 140, 211
Potenciación a largo plazo, 140, 205, 211
Preferencia como refuerzo positivo, 59, 61, 62, 205
Procesamiento de la información visual, 19, 31-33, 94, 123, 142-143, 199, 206, 211
Procesos operativos emocionales, 135, 144-147
Procesos operativos motivacionales, 135, 144-147

R

Reacción emocional, 20, 27, 33
Reactividad emocional, 48, 51, 52
Recompensa, 22, 27, 30, 31, 32, 35, 37, 39-45, 46-51, 52, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 172, 196, 205, 212
Recompensa y castigo, 22, 35, 37, 39-45, 46-51, 52
Redes neuronales artificiales, 171
Refuerzo negativo y drogas de abuso, 57, 66-69, 205
Refuerzo positivo y drogas de abuso, 57, 59, 61-62, 205
Refuerzos primarios, 32
Refuerzos secundarios, 32
Regiones emocionales del cerebro, 44
Reptiles, 25, 208
Resolución y saciación de la RS, 79, 81, 82, 84-85, 92, 97, 208
Respuesta emocional, 30, 32, 33, 38, 146
Respuesta extragenital, 79, 85
Respuesta sexual humana, 77, 79, 81-85, 107, 109
Respuestas hormonales en la sexualidad humana, 79, 80, 81, 86-88, 89-90, 101, 107, 125, 194, 213
Robótica emocional, 153, 155, 159-160, 161, 171, 173-179, 209, 213
RS: Respuesta Sexual, 77, 81, 82, 83, 84, 85, 90, 91, 92, 104, 105, 107, 109, 213

S

Satisfacción, 37, 39-42, 43, 46, 117, 196, 211
Sensación consciente, 21
Sentimiento consciente, 21, 192
Sentimiento de infinito, 189, 196-198
Sentimiento de vida, 196
Sentimientos, 13, 17, 19, 20-23,

27, 28, 48, 51, 52, 108, 135, 144, 148, 149, 192-193, 197, 199
Señales biofísicas, 175
Señales bioquímicas, 174, 175
Señales electrónicas, 170
Señales neurofisiológicas, 175
Señalización biológica de castigo, 37, 46-51
Señalización biológica de recompensa, 37, 46-51
Señalizadores biológicos, 37, 41, 51
Septum, 30, 101, 102, 103, 205, 213
Serotonina, 29, 31, 100, 108, 213
Sexualidad humana, 77, 79, 81, 89-90
Simpatía, 24
Síndrome de Down, 141
Sistema cannábico, 71, 206
Sistema de valores, 37, 39, 45, 52
Sistema dopaminérgico mesolimbicocortical, 57, 62-64
Sistema endocannábico, 66, 71
Sistema límbico, 29, 30, 31, 33, 57, 59-61, 62, 63, 70, 71, 98, 191, 205, 206, 213
Sistema opioide, 66, 71, 206
Sistemas de señalización biológica, 37, 42, 46
Sustrato neurobiológico del refuerzo positivo de las drogas de abuso, 57, 61-62
Sufrimiento, 37, 39-42, 46, 47
Supervivencia biológica, 19, 20, 28, 198
Sustancia gris, 29, 59, 65, 100
Sustancia gris periacueductal, 29, 59, 65, 100
Sustancia reticular, 29

T

Telencéfalo, 59, 213
Temperatura ambiente, 25, 206
Temperatura cerebral, 25, 206
Temperatura corporal, 25, 206
Toma de decisiones, 28, 37, 44-46, 48
Tronco cerebral, 59, 79, 97, 99, 100
Tronco del encéfalo, 23, 29, 31, 33, 59, 94, 209

V

Valor motivacional del refuerzo, 58
Vía nigroestriatal, 62
Vías de señalización, 139, 141, 142
Vocalizaciones, 24, 130