

Francisco Mora
(editor)

El cerebro sintiente

Ariel Neurociencia

EL CEREBRO SIENTIENTE

Ariel

Ariel Neurociencias

A todos los psicólogos y psicobiólogos de España,
que con tanto esfuerzo están haciendo sólido ese puente
entre Psicología y Neurociencia.

ÍNDICE

Introducción	13
Autores	15
CAPÍTULO 1. ¿Qué son las emociones y los sentimientos?, por FRANCISCO MORA	
1. Introducción	17
2. ¿Qué son las emociones y los sentimientos?	19
3. Emoción y lenguaje	20
4. Emoción y curiosidad	23
5. La curiosidad «sagrada» o la emoción por comprender	25
6. El heptálogo de las emociones	26
7. Los códigos cerebrales de la emoción	27
8. El procesamiento emocional de la información sensorial	28
9. Referencias bibliográficas	31
CAPÍTULO 2. Emoción, recompensa y castigo (Psicobiología del razonamiento y la moral), por IGNACIO MORGADO BERNAL.	
1. Placer y dolor: algo más que sensaciones	36
2. Recompensas y castigos: la construcción de un sistema de valores	38
2.1. Satisfacción y sufrimiento	39
2.2. La indeleble memoria emocional	39
2.3. El marcaje emocional en la toma de decisiones y la planificación del futuro	42
3. Deficiencias en la señalización biológica de recompensas y castigos	44
4. ¿Quién siente qué?	46
5. Referencias bibliográficas	51
CAPÍTULO 3. Drogas de abuso y emoción, por MIGUEL NAVARRO y FERNANDO RODRÍGUEZ DE FONSECA	
1. Introducción	55
2. Emoción y refuerzo	57

3.	Implicación del sistema límbico en la emoción	59
4.	Sustrato neurobiológico del refuerzo positivo y emocional del consumo de drogas de abuso	61
5.	El sistema dopaminérgico mesolímbico-cortical como diana de las drogas de abuso	62
6.	Participación del complejo amigdalino en los efectos emocionales de las drogas de abuso	64
7.	Sustrato neurobiológico implicado en el refuerzo negativo	66
8.	Interés clínico de la convergencia de acción de las drogas de abuso	69
9.	Resumen	71
10.	Agradecimientos	72
11.	Referencias bibliográficas	72
CAPÍTULO 4. Cerebro, emoción y la respuesta sexual humana, por MANUEL MAS		
1.	Componentes de la respuesta sexual humana	81
1.1.	Deseo	83
1.2.	Excitación	83
1.3.	Orgasmo	84
1.4.	Resolución-saciación	84
1.5.	Respuesta extragenital	85
2.	Hormonas y función sexual	86
2.1.	Dependencia hormonal de la conducta sexual animal	86
2.2.	Influencias hormonales en la sexualidad humana	89
3.	Mecanismos neurofisiológicos de la respuesta sexual	90
3.1.	Inervación periférica	91
3.2.	Integración espinal	92
3.3.	Mecanismos cerebrales	94
3.3.1.	Datos básicos de la experimentación animal	95
3.3.1.1.	Área preóptica medial/hipotálamo anterior	96
3.3.1.2.	Amígdala y circuitos límbicos	98
3.3.1.3.	Estriado ventral	99
3.3.1.4.	Hipotálamo medial	100
3.3.1.5.	Tronco cerebral	100
3.3.2.	Estudios en humanos	101
3.3.2.1.	Efectos sexuales de lesiones cerebrales	101
3.3.2.2.	Estimulación y registro de la actividad eléctrica cerebral	102
3.3.2.3.	Actividad metabólica cerebral	103
4.	Perspectivas futuras	107
5.	Referencias bibliográficas	109

CAPÍTULO 5. Los significados del juego: una perspectiva evolutiva, por J. LINAZA	113
1. La dificultad de definir el juego	115
2. Características del juego	116
3. La explicación funcional del juego	118
4. El juego en las distintas especies	120
5. Los juegos sociales: jugar a luchar.	125
5.1. Experimentos frente a observaciones: el punto de vista del observador y el punto de vista del observado	126
6. Referencias bibliográficas.	131
CAPÍTULO 6. Cerebro disminuido: el valor de la emoción y la motivación, por JESÚS FLÓREZ y MARA DIERSEN	133
1. Introducción	135
2. Bases moleculares del aprendizaje	136
3. Factores emocionales y motivacionales: mecanismos de interacción y de compensación.	141
4. Los procesos operativos emocionales y motivacionales	144
5. Conclusión	147
6. Referencias bibliográficas	149
CAPÍTULO 7. Computación y antropomorfismo en robótica emocional, por JOSÉ MIRA	153
1. El problema de la emoción artificial.	155
2. La inteligencia cognitiva artificial.	157
3. Maturana, Varela, Newell y Marr: una metodología común a neurociencia y computación	162
4. La inspiración biológica en robótica y computación.	170
5. El rigor de la física, la matemática y la computación en neurociencia	173
6. Reflexiones finales sobre computación y emoción.	179
7. Agradecimiento.	183
8. Referencias bibliográficas	183
CAPÍTULO 8. Cerebro, emoción y naturaleza humana, por FRANCISCO MORA	187
1. Otra vez a vueltas con la naturaleza humana	189
2. La emoción, ese ingrediente universal del cerebro vivo	192
3. Las ventanas plásticas de la emoción: un paréntesis.	193
4. Emoción y valores morales.	195
5. El sentimiento de infinito	196
6. ¿Hacia dónde vamos con nuestra naturaleza?	198
7. Agradecimientos	200
8. Referencias bibliográficas	200
Glosario.	203
Índice analítico	215

INTRODUCCIÓN

A ciertos niveles de estructura y función cerebral, y supuestas unas influencias sensoriales y afectivas normales, todos los individuos biológicos codifican en sus cerebros conductas y funciones que podríamos llamar personales o genuinas y otras que podríamos llamar universales. Entre estas últimas están la ingesta de alimentos y de bebida, la lucha y defensa ante depredadores o «enemigos», la sexualidad y otras menos básicas pero igualmente importantes para el hombre y los animales superiores, como son, por ejemplo, el juego. Todas ellas tienen un correlato directo y común en el cerebro que son los mecanismos que codifican para la emoción.

Hasta hace relativamente poco tiempo, el estudio de estas conductas era tema de análisis sólo asequible al artista, al pintor, al escritor, al escultor, al músico y, ya más lejos, al psicólogo y también al filósofo. En los últimos treinta años lo ha sido también al científico experimental que ha ido adentrándose en el conocimiento de cómo el cerebro crea el mundo de las emociones y la motivación.

Todo el mundo habla hoy de las emociones. Y de modo reciente, algunos libros influyentes en el gran público han reforzado ese coloquio. Pero como tantas veces ocurre, uno se pregunta: ¿aparte la experiencia personal y el conocimiento genérico de lo que llamamos emociones o sentimientos, de qué hablamos realmente cuando tratamos este tema? ¿Qué son las emociones? ¿Qué significado biológico tienen? ¿Tienen sentimientos los animales? ¿Es lo mismo emociones que sentimientos? ¿Se puede concebir un ser humano sin emociones ni sentimientos? ¿Qué emociones evocan las drogas? ¿Dónde están las emociones en el cerebro? ¿Hasta dónde se pueden descifrar los códigos cerebrales de su funcionamiento? ¿Qué valor tienen las emociones en la educación de los disminuidos psíquicos? ¿Qué lugar le corresponde a los sentimientos en ese rompecabezas que es la naturaleza humana? ¿Existe un sentimiento de lo sobrenatural que se pueda rastrear en

los entresijos del cerebro? Y hoy, que se habla de máquinas casi pensantes e incluso sintientes, ¿se puede concebir la existencia real de un ordenador que se emocione y sepa que lo hace, es decir que sienta? Y con todo ello junto, ¿en qué medida aporta un nuevo ingrediente a nuestro bagaje de conocimientos que nos permita conocer más y mejor la naturaleza humana?

Contestar a estas y otras preguntas, pero también hacer muchas más, ha sido lo que ha llevado a elaborar este libro. Libro, por otra parte, que hubiese querido incorporar el pensamiento y el buen decir de Ángel Riviere. Su muerte frustró este propósito. Sea pues este libro un recuerdo hacia él.

FRANCISCO MORA

AUTORES

Mara Dierssen, Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria (Santander).

Jesús Flórez, Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria (Santander).

José Linaza, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid.

Manuel Mas, Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de La Laguna, Tenerife.

José Mira, Departamento de Inteligencia Artificial. Facultad de Ciencias, UNED.

Francisco Mora, Departamento de Fisiología Humana, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid.

Ignacio Morgado, Departamento de Psicobiología, Universidad Autónoma de Barcelona.

Miguel Navarro, Instituto Universitario de Drogodependencias, Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid.

Fernando Rodríguez de Fonseca, Instituto Universitario de Drogodependencias, Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid.

CAPÍTULO 1

¿QUÉ SON LAS EMOCIONES Y LOS SENTIMIENTOS?

por FRANCISCO MORA

1. Introducción. — 2. ¿Qué son las emociones y los sentimientos? — 3. Emoción y lenguaje. — 4. Emoción y curiosidad. — 5. La curiosidad «sagrada» o la emoción por comprender. — 6. El heptálogo de las emociones. — 7. Los códigos cerebrales de la emoción. — 8. El procesamiento emocional de la información sensorial. — 9. Referencias bibliográficas.

1. Introducción

El hombre es un ser fundamentalmente emocional. Las neurociencias actuales nos enseñan que el ser humano no ve, siente u oye sino a través de los filtros emocionales de su cerebro. Me gusta como lo expresa O. Wilson (1998): «Sin el estímulo y guía de la emoción el pensamiento racional se enlentece y desintegra. La mente racional no flota por encima de lo irracional; no puede liberarse y ocuparse sólo de la razón pura. Hay teoremas puros en matemáticas pero no pensamientos puros que los descubran.» Sin duda, la emoción sigue embebiendo el cerebro racional del hombre.

La emoción, que en su origen debió de ser escudo protector máximo de la supervivencia biológica, es hoy también lo que mantiene vivo y competitivo al hombre en su relación con los demás. Es más, posiblemente sea uno de los fundamentos más profundos de su ser y estar en el mundo. Algo de eso apuntó Charles Darwin al señalar

que «el lenguaje de las emociones es por sí mismo y sin lugar a dudas importante para el bienestar del género humano». Precisamente, la fuente de los estímulos que provocan las respuestas emocionales del hombre actual están más en el propio hombre que en los estímulos primarios que mantuvieron su supervivencia biológica. Señalaba Charles S. Sherrington: «Human doings, human feelings, human hopes and fears move man as does nothing which is not human.» Es así que el hombre, aun protegido por el manto social de los demás, sigue siendo un ser fundamentalmente sintiente. «Without emotion it could not dream of the tasks it does dream of» (Sherrington, 1975).

2. ¿Qué son las emociones y los sentimientos?

Si nos atenemos a la estricta etimología de la palabra, emoción quiere decir, en esencia, movimiento. Es decir, expresión motora hecha a través de la conducta, sea ésta lenguaje verbal o simplemente corporal. William James, ya en 1884, al preguntarse qué era una emoción contestó que era una respuesta del organismo ante determinados estímulos del medio ambiente.

Con todo, sin embargo, nada mejor para entender qué es una emoción que la descripción de lo que ocurre y se siente cuando se experimenta: imagínese a usted mismo sentado plácidamente en el banco de un parque tomando el sol. Su percepción de lo que le rodea o de sus propias imágenes mentales vaga dispersa, sin un foco de atención preciso. De pronto, tras usted, oye un gruñido amenazador. Un perro enorme, enseñando agresivamente los dientes, parece presto a abalanzarse sobre usted. Ante esta fuente de peligro, su cerebro, su mente y su cuerpo sufren un cambio brusco, inmediato. Usted se apresta o bien a correr, o bien a luchar y defenderse. Su foco de atención se centra ahora en el perro. Su corazón golpea fuertemente el pecho. Usted respira más deprisa y más profundamente. Su cuerpo (lo que incluye su cerebro) experimenta miles de cambios —sensoriales, motores, endocrinos, metabólicos—, conducentes a facilitar la huida (correr) o el ataque (contra el enemigo). Está usted ante una fuerte reacción emocional.

Lo descrito, sin embargo, no es más que un tipo de reacción emocional. Hay otros. Por ejemplo, la reacción emocional ante determinados estímulos placenteros, sean éstos un buen alimento si se está hambriento o la hembra para el macho, si éste está deprivado.

do de sexo. De aquí que Le Doux señalara que la emoción (en singular) como tal no existe, «la emoción (el concepto) es sólo una manera conveniente de hablar de ciertos aspectos del cerebro (del cuerpo) y de la mente». Pero en cualquier caso, parece claro que por emociones, en su más primitiva y profunda acepción, queremos señalar los mecanismos que pone en marcha cualquier ser vivo para mantener su supervivencia.

Estas reacciones ante el peligro o ante lo placentero ocurren en cualquier especie animal y son inconscientes, incluso en el hombre. Es decir, ocurren antes de que nos apercibamos de ellas (en el caso de la visión del perro agresivo, nuestro cuerpo reacciona mucho antes de que nosotros tengamos una visión consciente de la situación). El hombre, además, experimenta una sensación consciente. (En el caso del ejemplo anterior, el sujeto «siente» miedo.) El hombre, pues, experimenta un sentimiento (consciente), sea éste de miedo o placer o sus muchas variables (véase mas adelante).

Le Doux (1996, 1999) lo ha expresado de la manera más clara: «Cuando estos sistemas (emocionales) funcionan en un animal que también tiene la capacidad de ser consciente, entonces aparecen las emociones conscientes o sentimientos. Esto claramente ocurre en los seres humanos, pero nadie sabe con seguridad si otros animales tienen esta capacidad. No cuestiono qué animales son conscientes y cuáles no. Simplemente sostengo que, cuando estos mecanismos ancestrales (como el que desencadena la conducta defensiva ante el peligro) funcionan en un cerebro consciente, se desencadenan sentimientos emocionales (como tener miedo). Cuando esto no es así, el cerebro cumple con su función sin tener conocimiento consciente. Y la ausencia de consciencia es la regla más que la excepción en el mundo animal.»¹

Las emociones y los sentimientos y sus definiciones y descrip-

1. La conciencia ha pasado de ser un misterio a ser un problema (Mora, 1995, 1999). Como siempre insisto, nada puede ser entendido sino a la luz de la evolución. Y es bajo esta perspectiva que la emoción ha podido ser el encendido inicial de la conciencia proporcionando más allá de los automatismos y la flexibilidad de la conducta precedentes, los grados de libertad en esa supervivencia del hombre frente al mundo. ¿Qué función para esta supervivencia cumplen los sentimientos, la parte consciente de las emociones? Baste citar las palabras de Antonio Damasio: «¿Para qué necesitaría nadie volverse conocedor de tal relación entre reacción emocional (inconsciente) y sentimiento o conocimiento (consciente) de esa reacción emocional? ¿Para qué complicar las cosas y meter la conciencia en este proceso si ya hay medios para responder adaptativamente a un nivel automatizado? La contestación es que la conciencia adquiere y expande la protección del individuo. Aun cuando los mecanismos innatos son necesarios para iniciar el rodaje de la bola del conocimiento, los sentimientos ofrecen algo extra.»

ciones tienen una larga historia (Antonio Damasio, 1994, 1995, 1999; Joseph LeDoux, 1996, 1999). Aun con ello, no me resisto a dar algunas definiciones concisas y actuales como la recogida en el Diccionario de neurociencias de Mora y Sanguinetti (1994), en el que por emoción se entiende la «Reacción conductual y subjetiva producida por una información proveniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos». Delgado y Mora (1998) han matizado más recientemente los componentes conductual y subjetivo de la emoción al señalar: «El concepto de emoción tiene dos acepciones. En primer lugar, se puede considerar como un fenómeno interno, personalizado y difícil de comunicar a otros miembros de la misma especie (subjetivo). Este componente interior adquiere en la especie humana un aspecto adicional de carácter cognitivo (son los sentimientos el aspecto consciente de las emociones). En segundo lugar la emoción se expresa como un fenómeno externo, conductual, que sirve de clave o señal a miembros de la misma especie o de aquellos con los que mantiene una relación.»

Otras definiciones sobre las emociones entran ya de lleno en el análisis de su origen y significado. Así, para Rolls (1999), «las emociones son parte de un sistema (cerebral) que ayuda a distinguir cierta clase de estímulos, muy ampliamente identificados como estímulos recompensantes o de castigo y que sirven para actuar (en el mundo). Parte de la idea es que este sistema proporciona o sirve de interfase entre tales estímulos y las conductas correspondientes».

En otras palabras, Rolls entiende, como además así se desprende de los ejemplos dados anteriormente y nos lo enseña la experiencia de todos los días, que las propias recompensas (como un buen plato de comida cuando se está hambriento, o un halago personal) producen un estado emocional de bienestar. Al contrario, el ataque de un enemigo, de un peligro con amenaza vital o social crea un estado emocional de malestar. De igual modo, el no recibir una recompensa o placer que estábamos esperando crea un estado emocional de frustración y rabia o de bienestar cuando un castigo que esperábamos es eliminado. Es así que tanto las propias señales de recompensa y castigo como los cambios en estas señales como omisión o terminación de estímulos recompensantes (placenteros) o de castigo pueden crear diferentes estados emocionales.

Damasio (1999) ha resumido de modo reciente esta temática sobre emociones y sentimientos de la siguiente manera: 1) Las emociones son una colección complicada de respuestas químicas y ner-

viosas formando un patrón; todas las emociones tienen algún tipo de función reguladora, dando lugar de una manera u otra a la creación de circunstancias ventajosas para el organismo que las experimenta. Las emociones que refieren a la vida de un organismo, a su cuerpo para ser preciso, y su función es ayudar al organismo a seguir vivo. 2) A pesar de que el aprendizaje y la cultura cambian la expresión de las emociones y les da nuevos significados, las emociones son procesos biológicos determinados que dependen de mecanismos cerebrales innatos, depositados por una larga historia evolutiva. 3) Los mecanismos que producen las emociones ocupan un conjunto de regiones subcorticales que engloban desde el tronco del encéfalo a otras áreas más altas del cerebro. 4) Todos los mecanismos de la emoción pueden funcionar sin deliberación consciente; la cantidad de variación individual y el hecho de que la cultura juega un papel en modular algunos inductores no niegan el automatismo fundamental y el propósito regulador de las emociones. 5) Todas las emociones utilizan el cuerpo como su teatro de actuación (medio interno, visceral, vestibular y sistema músculo-esquelético), pero las emociones también afectan la forma de funcionar de numerosos circuitos cerebrales: la variedad de respuestas emocionales es responsable del cambio profundo, tanto en el panorama corporal como cerebral. El conjunto de estos cambios constituye el sustrato de los patrones neurales que eventualmente devienen en sentimientos de la emoción.

Finalmente, a todo esto Damasio añade un punto más: «Todas las emociones generan sentimientos (en el hombre) si uno está despierto y consciente. Pero no todos los sentimientos derivan de las emociones. Yo llamo sentimiento de fondo a aquellos sentimientos que no están basados en emociones. Por ejemplo, el sentimiento de la vida misma, the sense of being.»

3. Emoción y lenguaje

Charles Darwin, en 1872, ya señalaba que las emociones constituyen un lenguaje. Un poderoso instrumento de comunicación utilizado por casi todas las especies animales, incluido el hombre.

De hecho, el lenguaje emocional es sin duda el lenguaje más primitivo. Es el lenguaje que utiliza el cuerpo como vehículo de expresión. Es el que avisa de forma ruda, sin mucha sofisticación, sin palabras, del peligro, de la comida, de la evitación de la lucha inútil en-

tre individuos de la misma especie y tribu, etc. Todo ello expresado con el cuerpo, posturas, vocalizaciones (expresiones guturales específicas de cada especie), mímica facial. Es claramente un lenguaje de comunicación rápido que se mantiene en el hombre. Las expresiones de agresividad, tristeza, simpatía, placer comunican al otro no sólo un estado de ánimo sino que «alertan» e indican cómo reaccionar ante esa persona para comunicarse más propiamente con ella. Esa rapidez de comunicación, esencial en los más primitivos estados para mantener la supervivencia individual y de la especie vale, a veces, en el hombre, más que millones de palabras. De hecho, el lenguaje emocional es más fuerte que el «noético» (las palabras) porque está anclado en los circuitos más profundos del cerebro. «Podemos comprender así el hecho de que jóvenes y viejos de muy distintas razas y lo mismo en el hombre que en los animales, expresen el mismo estado de ánimo con los mismos movimientos» (Darwin). Y no sólo es el lenguaje más primitivo en sentido filogénico (a lo largo de la evolución) sino también ontogénico (desarrollo del individuo), dado que es el que se utiliza más temprano, ya en la primera relación que se establece, por ejemplo, entre la madre y su hijo. ¿Qué otra lengua utiliza la madre con su hijo recién nacido sino el lenguaje emocional, el de los gestos y las onomatopeyas?

Cualquier comunicación entre personas, desde el antes mencionado de la madre con su hijo hasta incluso el de más alto y abstracto significado, el lenguaje emocional sigue jugando un papel esencial en las relaciones humanas. Sostengo que el lenguaje emocional siempre existe como sustrato o base al lenguaje «noético». El lenguaje emocional es permisivo al otro lenguaje, lo facilita o lo obstaculiza. Cuando en una conversación hay un fuerte componente emocional (agresivo), las palabras «sirven de bien poco». Cuando una pareja discute con un fuerte antagonismo en el que prima el componente emocional la palabra no es vehículo de mensaje. En tal situación, la persona que escucha no es capaz de descifrar el mensaje abstracto de las palabras, ya que antes se ocupa en descifrar el lenguaje más primitivo y primario, que es el lenguaje emocional y reacciona ante él. Al contrario, una conversación con un fuerte componente de confianza y agrado potencia el significado simbólico de las palabras. «Los movimientos expresivos dotan de viveza y energía a nuestras palabras y revelan los pensamientos y las intenciones de los demás mejor que las palabras, porque éstas pueden estar falseadas» (Darwin).

4. Emoción y curiosidad

¿Quién no ha visto una película de cine? ¿Qué nos mantiene atentos a la pantalla sino lo que sucederá en la siguiente secuencia de acontecimientos? Y la continuación de esa historia, ese desarrollo «emocionante» que ocurre en la ficción o en la realidad, ¿qué es, sino un estado cerebral de expectación y atención, de curiosidad en definitiva, hacia lo que pueda suceder y así hasta el final? He ahí un componente de la conducta, la curiosidad, enraizado y mantenido por los mecanismos de la emoción. Pareciera así que la emoción, no sólo es importante para defendernos y comunicarnos acerca de los depredadores que aparecen físicamente en el momento del ataque, o encontrar alimento en el inmediato entorno, sino que sirve de motor para «encontrar» cosas nuevas, sean éstas un alimento nuevo, o el refugio o rastro dejado por nuestros enemigos. De esta manera, ese encendido emocional que es la curiosidad ensancha el entorno de conocimientos que pueden salvaguardar mejor nuestra supervivencia al anticiparnos a los acontecimientos.

El ingrediente «curioso» de la emoción posiblemente nació con los mamíferos, hace de esto unos cien millones de años. Los mamíferos, con su temperatura corporal y cerebral constante y por tanto independiente de la temperatura ambiente, se han permitido el lujo de «pasear» la tierra. El mamífero ha roto así las ataduras que le mantenían esclavo a su estrecho ecosistema. Ha aumentado también el tamaño y peso de su cerebro y ha erguido su cuerpo sobre el suelo con respecto a sus predecesores los reptiles. Y es así que con un cerebro grande y un cuerpo ágil ha encontrado la libertad de movimientos y exploración y ha suplido con ello la falta de defensas naturales sobre su cuerpo. Debió ser, por tanto, en ese cerebro del mamífero primitivo en donde nació ese nuevo ingrediente de la conducta que es la curiosidad. 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).

Es de esta manera que el componente emocional de nuestro cerebro se pone en marcha como resultado de algo que nos desafía, el logro de un alimento o un enemigo, la curiosidad o la intriga. La curiosidad nos lleva en su secuencia de acontecimientos a lo nuevo. De lo desconocido a lo que queremos conocer. La curiosidad alimenta el descubrimiento que se convierte así en un ingrediente codificado en el cerebro de todos los mamíferos y en su forma máxima en el hombre.

5. La curiosidad «sagrada» o la emoción por comprender

Efectivamente, la curiosidad tiene su forma de expresión máxima en el hombre. El hombre explora lo desconocido, desmenuza, indaga desde que siente el primer mordisco intelectual de una parcela por conocer. Y una vez iniciada esa secuencia no descansa hasta llegar a lo nuevo. Pero este conocimiento nuevo le desvela muchos más desconocimientos y es así como prosigue, descubrimiento tras descubrimiento, con el mordisco de la curiosidad, enfrentándose a lo desconocido. ¿Qué mantiene ese atento explorar lo desconocido, esa «pasión» por comprender, esa curiosidad «sagrada», como la llamaba Sherrington?

Es de esta manera que el hombre hace ciencia, y un ingrediente básico de ese «hacer» es la emoción. La emoción de este modo se convierte en un mecanismo perverso que se autoalimenta y perpetúa, ya que el buscar constante se mantiene tanto por la emoción que sostiene el propio proceso de indagación como por la emoción que nos espera ante el siguiente descubrimiento. He aquí una función cerebral reconvertida o ampliada en el hombre, la de la emoción que tras haber sido en su inicio un mecanismo básico de supervivencia se ha puesto ahora, además, al servicio de esa otra función que es la ciencia y que nos lleva no sabemos bien a dónde.

Esto último no nos debe sorprender en absoluto. Precisamente el organismo en general y el propio cerebro, en particular, en ese proceso tan profundamente desconocido como es su devenir evolutivo, ha ido manteniendo viejas estructuras y viejos códigos neurales, pero les ha añadido nuevos significados, nuevas funciones. Posiblemente esto último, el cambio de funciones o el añadido de funciones nuevas en estructuras preexistentes del organismo, ha debido ocurrir muchas veces a lo largo de la evolución.²

2. Hay muchos ejemplos de ello. El mecanismo básico para derivar el flujo sanguíneo a la piel, que primero sirvió como mecanismo respiratorio en los anfibios, y después como colector y eliminador de calor en los reptiles hasta realizar la función termorreguladora que ahora realiza en los mamíferos (Satinoff, 1978). De igual modo, estructuras anatómicas o funciones que en su momento sirvieron de modo automático a un propósito, éste ha podido cambiar con el tiempo. Por ejemplo, el cambio de postura de los reptiles (reptación en inmediato contacto del cuerpo sobre el suelo) a los mamíferos (cuatro patas largas sosteniendo el cuerpo contra la gravedad). Ello ha servido a muchos propósitos, pero uno importante derivado secundariamente de esta posición en los mamíferos ha sido la generación del calor endógeno por la masa muscular y con ello el desarrollo de mecanismos cerebrales que controlen ese calor. He ahí el origen de ese maravilloso invento que es la temperatura corporal y cerebral constante y que tan enormes consecuencias ha tenido en el posterior desarrollo de las especies durante la evolución (Gisolfi y Mora, 2000). Con el cerebro mismo

6. El heptálogo de las emociones

Hemos visto que las emociones cumplen varias funciones. La esencia de todas ellas podría resumirse en siete puntos.

1.º Las emociones sirven para defendernos de estímulos nocivos (enemigos) o aproximarnos a estímulos placenteros o recompensantes (agua, comida, juego o sexo) que mantengan nuestra supervivencia. En este sentido, además, las emociones son motivadoras. Es decir, nos mueven o empujan a conseguir o evitar lo que es beneficioso o dañino para el individuo y la especie.³

2.º Las emociones generan que las respuestas del organismo (conducta) ante acontecimientos (enemigos, alimentos) sean polivalentes y flexibles. Son reacciones que ayudan a encontrar, no una respuesta fija ante un determinado estímulo, sino que bajo la reacción general de alerta, el individuo escoge la respuesta más adecuada y útil entre un repertorio posible. Ello se expande enormemente con la aparición de los sentimientos (la parte consciente de las emociones). Las emociones y los sentimientos, de esta manera, dotan de más versatilidad a la conducta. Y ello, obviamente, es de más utilidad para la supervivencia del individuo y de la especie.

3.º Las emociones sirven a las funciones del punto primero y segundo, «alertando» al individuo como un todo único ante el estímulo específico. Tal reacción emocional incluye activación de múltiples sistemas cerebrales (activación reticular, atencional, mecanismos sensoriales, motores, procesos mentales), endocrinos (activación suprarrenal medular y cortical y otras hormonas), metabólicos (glucosa y ácidos grasos) y en general activación de muchos de

ocurre otro tanto, particularmente con la evolución del cerebro humano y tanto en el origen y causas posibles del aumento del cerebro como en la reorganización del mismo y cambios en sus funciones a lo largo del tiempo (véase Gisolfi y Mora, 2000). De igual modo ha podido ocurrir con los movimientos expresivos de las emociones. Es decir, movimientos en un principio utilizados con un propósito han sido posteriormente reconvertidos para otros. Así lo expresa Charles Darwin, «cada verdadero o hereditario movimiento expresivo parece haber tenido un origen natural e independiente, aunque una vez adquiridos tales movimientos puedan emplearse voluntaria y conscientemente como medios de comunicación.» Darwin prosigue: «Frases tales como “ciertos movimientos sirven como medio de expresión” son proclives a engañarnos, ya que suponen que tal era su intención primaria o su finalidad. Sin embargo, parece que pocas veces, o quizá nunca, ha sido así, ya que dichos movimientos tuvieron en principio, o bien algún uso directo o bien constituían un efecto indirecto del estado excitado del sensorio.»

3. Aquí, emoción (estímulos provenientes del medio externo) y motivación (estímulos provenientes del medio interno al organismo producidos por privación, hambre, sed, actividad sexual) entran en concierto (véase Delgado y Mora, 1998).

los sistemas y aparatos del organismo (cardiovascular, respiratorio, etc., con el aparato locomotor —músculo estriado— como centro de operaciones).

4.º Las emociones mantienen la curiosidad y con ello el descubrimiento de lo nuevo (nuevos alimentos, ocultación de enemigos, etc.). De esta manera ensanchan el marco de seguridad para la supervivencia del individuo.

5.º Las emociones sirven como lenguaje para comunicarse unos individuos con otros (de la misma especie o incluso de especies diferentes). Es una comunicación rápida y efectiva. En el hombre el lenguaje emocional es también un lenguaje básico tanto entre los miembros de una misma familia (padres e hijos) como entre los miembros de una sociedad determinada. Ello, además, crea los lazos emocionales (familia, amistad) que pueden tener claras consecuencias de éxito, tanto de supervivencia biológica como social.

6.º Las emociones sirven para almacenar y evocar memorias de una manera más efectiva (Rolls, 1999). A nadie se le escapa que todo acontecimiento asociado a un episodio emocional (debido a su duración tanto como a su significado) permite un mayor y mejor almacenamiento y evocación de lo sucedido. Ello, de nuevo, tiene claras consecuencias para el éxito biológico y social del individuo.

7.º Las emociones y los sentimientos «pueden jugar un papel importante en el proceso del razonamiento y en la toma de decisiones, especialmente aquellas relacionadas con la persona y su entorno social más inmediato» (Damasio, 1994). Este séptimo punto nos invita a pensar que, en el hombre, las emociones siguen siendo uno de los constituyentes o pilares básicos sobre los que descansan casi todas las demás funciones del cerebro. Más que eso, la forma suprema del funcionamiento cerebral, el razonamiento mismo, resulta, como señala Damasio, de la actividad concertada entre la corteza cerebral y la parte más antigua del cerebro; la que genera las emociones.

7. Los códigos cerebrales de la emoción

De todo lo que antecede y en un sentido amplio, una cosa parece clara. Las emociones reducidas a su más simple y elemental pronunciamiento se refieren, ya desde su origen, a los mecanismos que utiliza el individuo para sobrevivir y comunicarse. Es así que si las

emociones y el lenguaje emocional están enraizados en lo más profundo y primitivo del cerebro humano, ¿de dónde nos vienen? ¿Hasta dónde se puede trazar su origen evolutivo en el cerebro?

Alcanzar a entender el origen de las emociones y su significado en el hombre requeriría de modo importante entender primero la evolución y construcción del cerebro humano a lo largo de sus muchos años, millones de años, de pruebas de azar y reajustes. No es aquí el lugar donde podemos aproximarnos a su estudio (Gisolfi y Mora, 2000).⁴

Analizar las funciones de las emociones a nivel de la conducta nos sirve para rastrear su correlato en las vías neurales y circuitos del propio cerebro (y también neuroendocrinas). Una breve reseña histórica de estos conocimientos y sus teorías —lo que incluye los nombres de Broca, Cannon, Papez, McLean, etc.— puede verse en Fernández de Molina (1998) y Delgado y Mora (1998). Numerosos estudios experimentales nos han llevado a saber que las áreas cerebrales que codifican información sobre emoción y motivación se encuentran localizadas tanto en la corteza cerebral (corteza cingular y orbitofrontal) como por debajo del manto cortical en áreas como son el tronco del encéfalo y el sistema límbico. En el tronco del encéfalo, el papel relevante lo juega la sustancia reticular y en ella toda una serie de núcleos, lo que incluye los núcleos que proyectan sus axones hacia el cerebro anterior y corteza cerebral (acetilcolina, serotonina, dopamina, noradrenalina) y la región conocida como sustancia gris periacueductal (péptidos opiáceos) y núcleos de los pares craneales. El sistema límbico, a su vez, está constituido por toda una serie de estructuras, lo que incluye la amígdala, el hipocampo, el hipotálamo y el área septal. En el concepto genérico de

4. Aun cuando absolutamente sorprendente, el origen de las emociones se podría rastrear y encontrar sus huellas en los seres unicelulares, hace casi unos mil millones de años. Pensemos, por ejemplo, que en el diseño más elemental y simple de la conducta de los seres unicelulares se encuentran ya funciones tan complejas como son la capacidad de detectar la intensidad de la luz y el calor del medio ambiente (Gisolfi y Mora, 2000). Junto a ello, la célula más primitiva ya posee las capacidades de movimiento y control, la capacidad de reproducirse. Es evidente, pues, que los ingredientes básicos de lo que luego será codificado en el sistema nervioso de los seres pluricelulares como mecanismos de supervivencia, tanto del individuo como de la especie, ya se encuentra en los seres vivos (unicelulares) completamente desprovistos de este tejido. Con el nacimiento y desarrollo de las células nerviosas, la organización básica del sistema nervioso y las conducentes a obtener comida, bebida, las propiedades de la irritabilidad y responder a estímulos nocivos y posterior aparición del cerebro, los mecanismos de la emoción han quedado impresos en circuitos firmes que en mayor grado de sofisticación o complejidad han llegado hasta el cerebro humano.

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

sistema límbico también se incluyen las áreas corticales cingulada y órbito-frontal antes mencionadas. Estas estructuras se encuentran ampliamente interconectadas entre sí (Delgado y Mora, 1998; Damasio, 1999; Rolls, 1999).

Una historia particularmente relevante en este contexto la constituye el descubrimiento de la autoestimulación cerebral hecho por Olds y Milner en 1954 (véase Mora, 1997). Estos autores demostraron que un animal es capaz de estimular eléctricamente su propio cerebro a través de un electrodo (un pequeño alambre) implantado en su propio cerebro. Tras el descubrimiento de este fenómeno, estos mismos autores, particularmente los trabajos del laboratorio del propio Olds, mostraron que sólo algunas áreas del cerebro, no todas, son las que, estimuladas, provocan que el animal aprenda una conducta instrumental (apretar una palanca) en orden a obtener, por sí mismo, la estimulación de su propio cerebro. Este fenómeno se ha reproducido en casi todas las especies animales en que se ha experimentado, incluido el hombre (Mora, 1997).

De las muchas áreas del cerebro estudiadas para la autoestimulación del cerebro fueron particularmente relevantes las situadas en el sistema límbico, entre ellas el hipotálamo, amígdala, septum y corteza prefrontal. Estudios posteriores mostraron que neuronas de estas áreas del cerebro activadas por la propia autoestimulación cerebral están muy estrechamente interconectadas entre sí, indicando que el sistema límbico posee circuitos que, de alguna manera, codifican para la recompensa. Estudios posteriores mostraron la significación fisiológica o funcional de estos circuitos: estas neuronas, activadas por la autoestimulación cerebral, al menos para el hipotálamo, responden al estímulo de la visión del alimento, sólo si el animal está hambriento (pero no saciado), lo que claramente indica que estas neuronas sensan el valor del alimento como recompensa, es decir, cuando significa algo. Recompensa (motivación) y emoción tienen un vínculo subjetivo y conductual muy estrecho (Rolls, 1999).

Los códigos escritos en estas áreas del cerebro límbico que acabamos de describir son puestos en marcha por la entrada de información sensorial que es la que detecta y alerta sobre el fenómeno en el medio ambiente causante de la respuesta emocional (un perro agresivo o un buen plato de comida si se está hambriento). Fernández de Molina (1998) lo resume así: «Una vez que la información sensorial es evaluada al integrarla en la amígdala con la información procedente de los sistemas de refuerzo, tanto de recompensa

como castigo, las disposiciones innatas de la amígdala son activadas automáticamente y puestas en marcha las diversas respuestas a partir del hipotálamo y tronco del encéfalo. Esta respuesta tiene cuatro componentes: 1) la activación del sistema motor para generar las posturas y expresiones faciales adecuadas; 2) la activación del sistema nervioso autónomo, cuyas señales van a generar en las vísceras el estado habitualmente asociado con la situación desencadenante; 3) la activación del sistema endocrino, y 4) la activación de núcleos de neurotransmisores (noradrenalina, serotonina, dopamina y acetilcolina). Los tres primeros inciden sobre el cuerpo causando el estado corporal emocional, que será después señalizado tanto al sistema límbico como a la corteza somatosensorial (S-I, S-II e ínsula). El cuarto componente va a producir un cambio en la eficiencia y estilo del procesamiento cognitivo.»

8. El procesamiento emocional de la información sensorial

Si la emoción nace en sus orígenes de un estímulo externo (del medio ambiente), la Neurociencia actual nos va desmenuzando cómo ello ocurre en el cerebro desde el inicio, qué son las percepciones y sus mecanismos neuronales.

El conocimiento del funcionamiento neurofisiológico de los órganos de los sentidos (léase retina para la visión, órganos de Corti para la audición o bulbo para el olfato) señala que la realidad sensorial en cada una de estas modalidades es analizada y desmenuzada inicialmente en componentes elementales. Este proceso es mejor conocido en el sentido de la visión (Zeki, 1995). Hoy sabemos, por ejemplo, que un objeto, sea éste una naranja, es analizado por el cerebro en sus muchos componentes, como son el color, forma, orientación, movimiento, profundidad, su relación con otros objetos del espacio, etc., de forma individualizada y transportada por vías paralelas al cerebro. También sabemos hoy que esta varia información es distribuida en diferentes áreas del cerebro y circuitos en donde sufre un posterior análisis y finalmente es almacenada. Sin embargo, resulta extraordinario el que cuando evocamos en imágenes mentales o vemos físicamente la naranja, nosotros siempre vemos una naranja y nunca los componentes individualizados que están almacenados en distintas partes del cerebro. Ello nos conduce a la idea de que la evocación del objeto debe conllevar un mecanismo que active todas las áreas correspondientes al mismo tiempo y pon-

ga juntas todas sus características individuales, en este caso de la naranja, evocándolo de esta manera y de modo final como objeto único. A cómo el cerebro puede hacer todo esto se le conoce con el nombre de binding problem. Estudios recientes han sugerido que los mecanismos de unir o poner juntas todas las propiedades de un objeto son producidos por la actividad o disparo sincrónico de todas las neuronas que intervienen en el análisis de cada propiedad de la naranja (Llinás y Churchland, 1996).

Pues bien, hasta este último nivel de análisis, estudios neurofisiológicos han puesto de manifiesto que las neuronas no responden a ningún componente hedónico asociado al estímulo (en nuestro caso la naranja) (Rolls, 1999). Es sólo en áreas posteriores a este procesamiento estrictamente sensorial, en estructuras como la amígdala, corteza prefrontal e hipotálamo, en donde las neuronas responden a estímulos asociados a refuerzos (positivos o negativos) o a componentes emocionales. Todo esto nos lleva a la conclusión de que el cerebro, inicialmente, procesa la información sensorial de una manera desprovista de todo componente emocional, y sólo cuando el estímulo alcanza ciertas áreas, los llamados «circuitos límbicos», es cuando adquiere la tonalidad afectiva y emocional. Estructuras cerebrales como la amígdala y la corteza prefrontal son especialmente relevantes a este respecto. Son, efectivamente, áreas del cerebro en donde se realizan las asociaciones entre los llamados refuerzos primarios y secundarios, es decir, aquellos (los primarios) que por naturaleza tienen propiedades de refuerzo, por ejemplo, comida si se está hambriento y con ello una respuesta emocional y aquellos otros (secundarios) que por sí mismos no son reforzantes (una luz o un sonido) pero que si se aparean con el refuerzo primario (alimento) adquieren ellos mismos (asociación por aprendizaje) propiedades de refuerzo, junto a una respuesta emocional.

La amígdala, por ejemplo, es una estructura cerebral que juega un papel importante en estos circuitos límbicos de la emoción y la motivación (Fernández de Molina, 1998). Se ha sugerido que los circuitos amigdalinos pueden tener un papel en la formación de asociaciones entre estímulos del medio ambiente y refuerzos positivos o negativos. Lesiones de la amígdala impiden que los animales puedan asociar estímulos visuales o de otro tipo con refuerzos primarios, sean éstos de recompensa o castigo y con ello tener respuestas emocionales normales. Lesiones en esta estructura impiden a los animales (primates) tener una respuesta emocional ante estí-

mulos que normalmente producen respuestas agresivas o de placer y se vuelven por tanto animales mansos. Por otra parte, se ha podido comprobar que muchas neuronas de la amígdala del primate, que reciben aferencias visuales, responden a caras. Pero lo más interesante es la demostración en humanos de que lesiones de la amígdala producen un impedimento, no en reconocer a quién pertenecen las caras, sino al mensaje emocional de las mismas. Un paciente con lesión de ambas amígdalas puede reconocer a qué amigo o familiar pertenece la cara que se le presenta en una fotografía, pero es incapaz de detectar si tal cara contiene una expresión de alegría o miedo (Adolphs et al., 1994).

La corteza prefrontal, por su parte, en particular la corteza orbitofrontal, contiene circuitos neuronales en donde igualmente se realizan asociaciones del tipo estímulo-refuerzo. En particular, una de las funciones de esta área del cerebro ha sido relacionada con la desconexión de asociaciones estímulo-refuerzo previamente realizadas. Es decir, desconectar situaciones, objetos o personas previamente unidos a connotaciones emocionales. Ello provee a esta área del cerebro de la capacidad plástica de adaptarse a los cambios permanentes que se suceden en el mundo emocional del individuo. Lesiones de esta área del cerebro producen consecuentemente cambios en la conducta emocional, como por ejemplo, persistencia en la relación y lazos sentimentales que ya se han roto en la realidad, falta de afecto por los demás o poca reacción emocional y completa despreocupación de cuanto acontece alrededor del individuo o la planificación de futuro. Ha sido sugerido además que esta área del cerebro y sus circuitos son el depósito de las situaciones vividas junto a experiencias emocionales únicas del individuo a lo largo de toda su vida. La lesión de esta área del cerebro justifica claramente el tremendo impacto que posee en la vida de una persona (Rolls, 1999).

El hipotálamo es el área cerebral que junto con otras áreas del sistema límbico procesa y efectúa la salida de información hacia el sistema neuroendocrino y neurovegetativo, es decir, activa todas las respuestas generales que hemos descrito con anterioridad ante una reacción emocional. La salida de información de estas áreas hacia estructuras motoras como los ganglios basales o áreas del tronco del encéfalo son la respuesta corporal inconsciente que realiza el organismo vivo ante una reacción emocional (Rolls, 1999).

9. Referencias bibliográficas

- Adolphs, R.; Tranel, D.; Damasio, H. y Damasio, A. (1994): «Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala», *Nature*, 372, 669-672.
- Damasio, A. R. (1994): *Descartes's Error*, Londres, Picador, Putnam.
- (1995): «Toward a Neurobiology of Emotion and Feeling: Operational Concepts and Hypothesis», *The Neuroscientist*, 1, 19-25.
- (1999): *The feeling of what happens*, Londres, William Heinemann.
- Darwin, Ch. (1998): *La expresión de las emociones en el hombre y los animales*, Madrid, Alianza Editorial.
- Delgado, J. M. y Mora, F. (1998): «Emoción y motivación. Sistema límbico», en J. M. Delgado, A. Ferrús, F. Mora y F. Rubia (eds.), *Manual de neurociencias*, Madrid, Síntesis.
- Fernández de Molina, A. (1998): «Cerebro y sentimientos», en F. Mora y J. M. Segovia de Arana (coords.), *Desafíos del conocimiento ante el tercer milenio*, Oviedo, Fundación BSCH-Ediciones Nobel.
- Gisolfi, C. V. y Mora, F. (2000): *The Hot Brain*, Cambridge, MA, MIT Press.
- James, W. (1984): «What is an emotion?», *Mind*, 9, 188-205.
- Le Doux, J. (1996): *The Emotional Brain*, Nueva York, Simon and Schuster.
- (1999): *El cerebro emocional*, Barcelona, Ariel-Planeta.
- Llinás, R. y Churchland, P. S. (1996), *The Mind-Brain Continuum*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Mora, F. (1995): *El problema cerebro-mente*, Madrid, Alianza Editorial.
- (1996): «Neurociencias: una nueva perspectiva de la naturaleza humana», en F. Mora (ed.), *El cerebro íntimo*, Barcelona, Ariel.
- (1997): «Cerebro y placer», en J. Botella y F. Mora (eds.), *¿Cómo funciona el cerebro?*, Universidad de Valladolid, pp. 23-36.
- (1998): «Los caminos cerebrales de la emoción y el placer», en *Grandes temas de las Ciencias de la Vida*, Oviedo, Fundación BSCH-Ediciones Nobel, pp. 105-118.
- (2000): «The Brain and the Mind», en M. G. Gelder, J. J. López-Ibor y N. Andreasen (eds.), *The New Oxford Textbook of Psychiatry*, Oxford, Oxford University Press.
- Mora, F. y Sanguinetti, A. M. (1994): *Diccionario de neurociencias*, Madrid, Alianza Editorial.
- Rolls, E. T. (1999): *The Brain and Emotion*, Oxford, Oxford University Press.
- Satinoff, E. (1978): «Neural Organization and Evolution of Thermal Regulation in Mammals», *Science*, 201, 16-22.
- Sherrington, Ch. (1975): *Man on his nature*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Wilson, E. O. (1978): *On Human Nature*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- (1998): *Consilience*, Nueva York, Alfred A. Knopf.

Zeki, S. (1995): Una visión del cerebro, Barcelona, Ariel.

CAPÍTULO 2

EMOCIÓN, RECOMPENSA Y CASTIGO (Psicobiología del razonamiento y la moral)

por IGNACIO MORGADO BERNAL

1. Placer y dolor: algo más que sensaciones. — 2. Recompensas y castigos: la construcción de un sistema de valores; 2.1. Satisfacción y sufrimiento; 2.2. La indeleble memoria emocional; 2.3. El marcaje emocional en la toma de decisiones y la planificación del futuro. — 3. Deficiencias en la señalización biológica de recompensas y castigos. — 4. ¿Quién siente qué? — 5. Referencias bibliográficas.

El dolor, el placer y las emociones que suscitan constituyen importantes señalizadores biológicos que a lo largo de la vida intervienen de un modo crítico en la adquisición del sistema de valores funcionales, sociales y morales que guía el comportamiento. Los mecanismos emocionales del cerebro garantizan la formación de memorias robustas y duraderas para todos aquellos estímulos que adquieren significado biológico. La anticipación cognitiva y somática de la experiencia emocional facilita la planificación del futuro y la toma de decisiones ventajosas. Las deficiencias en los sistemas perceptivos y emocionales del cerebro, particularmente en la corteza orbitofrontal, afectan a la construcción del sistema de valores de los individuos y pueden alterar el comportamiento ordinario, la inteligencia y la personalidad.

1. Placer y dolor: algo más que sensaciones

Desde la más temprana infancia, la experiencia de placer y su contrapartida, la de dolor, llenan nuestra mente de contenido y profundizan el sentido de nuestra vida. El hombre es un buscador de recompensas y placeres, temeroso del castigo y el dolor. Difícilmente, no obstante, esa significación y relevancia biológica podría justificarse por la sola percepción somática del placer y del dolor mismos. La clave para entender por qué tales experiencias tienen un papel crítico en nuestras vidas está en algo que hasta la engañosa introspección psicológica de cada uno de nosotros puede poner en evidencia: el placer y el dolor son mucho más que una sensación, son una emoción.

El dolor y el placer parecen haber evolucionado en los seres vivos, no como elementos centrales de un proceso regulador del comportamiento adaptativo y la supervivencia, sino como componentes auxiliares de tal proceso. Para el conocido neuropsicólogo Antonio Damasio, el dolor y el placer son sencillamente las palancas que el organismo requiere para que las estrategias de comportamiento instintivo y aprendido funcionen con eficacia. Gracias a ellos, en cada circunstancia tenemos muy claro lo que es bueno y lo que es malo, lo que conviene tomar y lo que conviene evitar. Cuanto más diáfana y consistente sea esa catalogación más claro tendrán los organismos los comportamientos o respuestas que les conviene realizar en situaciones inesperadas o conflictivas. Es por ello que las palancas del dolor y el placer activan también emociones particulares cuya misión consiste igualmente en proteger a los organismos guiando su comportamiento. La respuesta emocional añadida concentra nuestra atención en los estímulos placenteros o dolorosos e incrementa su significado señalizando enfáticamente su valor.

No son ideas nuevas. Aristóteles ya sostuvo la primacía del carácter emocional de la experiencia del dolor y Gracián adelantó hace tres siglos, en *El criticón* («Introdujo la sabia y próspera naturaleza el deleite para que fuese medio de las operaciones de la vida»), la idea que Damasio tiene hoy sobre el placer. Lo que ahora puede resultar más novedoso es explicar esas mismas ideas sobre la base del conocimiento que recientemente hemos adquirido sobre la psicobiología de la percepción y de las emociones. Lo que sigue no es sino un ensayo de tal explicación.

2. Recompensas y castigos: la construcción de un sistema de valores

2.1. SATISFACCIÓN Y SUFRIMIENTO

Las emociones son funciones biológicas del sistema nervioso que han evolucionado para, en situaciones de peligro o conveniencia, producir comportamiento adaptativo y facilitar la supervivencia de las especies. El cerebro dispone no de un único sistema emocional sino de múltiples y variados tipos capaces de responder del modo conveniente en situaciones diferentes (véanse en la [figura 2.1](#) algunas de las principales estructuras y relaciones del cerebro emocional humano). Reaccionamos con emociones negativas (miedo, ansiedad, sufrimiento) cuando nos enfrentamos a un castigo o situación adversa y lo hacemos con emociones positivas (bienestar, agrado, satisfacción) cuando recibimos una recompensa. A lo largo de nuestra vida, los estímulos o circunstancias relevantes capaces de guiar nuestra conducta serán precisamente aquellos que de un modo u otro se asocien a las situaciones de placer o dolor o a sus concomitantes emocionales de agrado o desagrado, de satisfacción o de sufrimiento.

Los psicólogos funcionalistas definieron el término «recompensa» (equivalente al de «refuerzo») como cualquier estímulo o eventualidad que aumenta la probabilidad de ocurrencia de una determinada conducta. El paradigma clásico es la rata hambrienta que presiona una palanca de su jaula porque cada vez que lo hace obtiene una pequeña porción de comida (la recompensa). Del mismo modo, la probabilidad de que volvamos al cine aumenta cuando vemos una buena película. A su vez, el «castigo» se define como la inversa, es decir, como cualquier estímulo o eventualidad que disminuye la probabilidad de ocurrencia de una conducta. Si la rata recibe una pequeña descarga eléctrica en sus patas (un castigo) cada vez que presiona una palanca, disminuirá la probabilidad de que, incluso cuando tenga hambre, repita su conducta. Si la película fue un horror, lo más probable es que disminuyan nuestras ganas de volver al cine.

Pero ¿cómo modifican el comportamiento las recompensas y los castigos? Analicemos un ejemplo. Cuando estamos hambrientos y nuestra conducta es recompensada con alimento se activan estructuras del cerebro que producen placer de modo instantáneo. Ello es debido a que los circuitos neurales del sentido del gusto son capaces

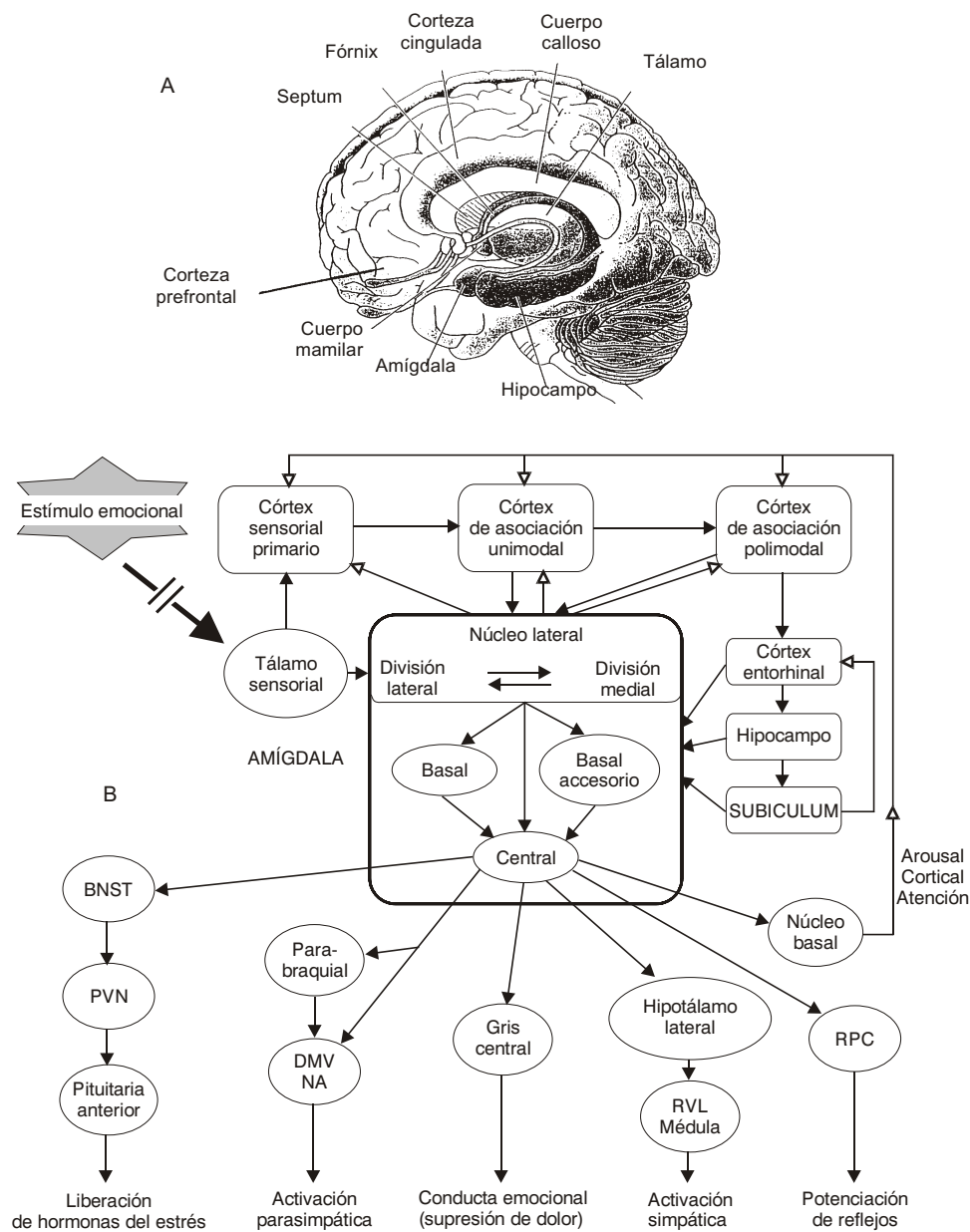


FIG. 2.1. A) Algunas de las principales estructuras del cerebro emocional humano. B) Organización funcional de uno de los sistemas emocionales del cerebro: el miedo condicionado. Destaca el papel preponderante de la amígdala y sus conexiones con la corteza cerebral por un lado (cortezas primaria y de asociación, hipocampo, etc.) y con diferentes estructuras del sistema nervioso autónomo y endocrino, por otro (núcleos de la base del cerebro y del tronco del encéfalo). (Modificado de LeDoux y Muller, 1997: Phil. Trans. R. Soc. Lond, 352, 1719-1726.)

de estimular la liberación de una sustancia química llamada dopamina en el llamado núcleo accumbens, una estructura de la base del cerebro. Este acontecimiento bioquímico (la liberación de dopamina en el núcleo accumbens) parece crítico en la señalización de estímulos con alto significado biológico y, particularmente, en la génesis de cualquier situación placentera (comida apetitosa, recepción de una buena noticia, estimulación sexual, administración de una droga, etc.). El proceso no se detiene aquí. La sensación de placer activa enseguida un determinado sistema emocional del cerebro. Como consecuencia de ello se disparan cambios fisiológicos en todo el cuerpo (cambios en la frecuencia cardíaca, respiración, sudoración, liberación de hormonas, etc.) y se produce una determinada expresión conductual. El cerebro mismo resulta ampliamente activado por todos estos cambios que percibe como agradables. El humor se torna positivo y nuestra atención se concentra en la situación que ha originado el placer. A la sensación inicial del mismo se ha añadido un sentimiento generalizado de satisfacción. Es la emoción. El sistema nervioso parece evolutivamente programado para, en esas circunstancias, tender a repetir la conducta que inició el proceso (comer más, en este caso).

Un segundo ejemplo se relaciona con el dolor. Cuando un estímulo intenso o dañino alcanza nuestro organismo, por ejemplo, al lesionar una parte de nuestra piel, se activan terminaciones y vías nerviosas que llevan al cerebro información sobre ese estímulo, la información nociceptiva. Allí, los sistemas encargados de procesar la sensibilidad somática (tálamo, hipotálamo, corteza parietal) originan el dolor. Al igual que ocurría con el placer, la sensación de dolor es capaz entonces de activar un determinado sistema emocional del cerebro. Se producen pues cambios fisiológicos y conductuales. El propio cerebro es activado por esos cambios que esta vez percibe como desagradables. La emoción ahora consiste en un sentimiento generalizado de sufrimiento. En estas otras circunstancias, el sistema nervioso parece programado para inhibir las conductas que puedan mantener o volver a activar los estímulos que iniciaron el proceso (evitar el estímulo dañino, es este caso).

Con todo, el dolor y el placer son señalizadores biológicos tan poderosos que su sola percepción cuando son suficientemente intensos puede desencadenar automáticamente en los organismos respuestas conductuales de atracción o rechazo. Y no es menos cierto que la activación de los sistemas emocionales que suele acompañar a esas per-

cepciones, es decir, la satisfacción o el sufrimiento, garantiza e incrementa dicha señalización biológica. Ya hemos dicho que la propia experiencia introspectiva nos lo sugiere. Pero hay otra razón, todavía más poderosa, por la que las percepciones primarias de dolor y placer se acompañan de emociones: la conveniencia, quizá la necesidad, de una robusta memoria para todos aquellos estímulos que se asocien a dolor o placer.

2.2. LA INDELEBLE MEMORIA EMOCIONAL

La marca sobre la piel del hierro incandescente es indeleble. Todos los ciudadanos de una determinada generación recuerdan con bastante claridad el lugar donde se hallaban cuando recibieron la noticia del asesinato del presidente John F. Kennedy. La energía para «calentar el hierro» procede de la emoción. Cuando un sistema emocional del cerebro se activa pone en marcha mecanismos liberadores de hormonas en el torrente circulatorio. Entre las más importantes están la adrenalina y los glucocorticoides, fabricadas y liberadas por las glándulas suprarrenales. Estas hormonas influyen al cerebro (directamente o a través de las terminales del sistema nervioso autónomo) en lugares críticos de los propios sistemas emocionales, como la amígdala ([véase la figura 2.1](#)). Esta estructura a su vez pone en marcha diversos sistemas de activación general del cerebro, lo que facilita el trabajo de los sistemas perceptivos de la corteza cerebral y la formación de las memorias en curso. Entre los sistemas de activación cerebral y conductual afectados vía amígdala por los estados emocionales podemos destacar el sistema colinérgico de la base del cerebro (nucleus basalis, [figura 2.1](#)). Este sistema utiliza la acetilcolina, una sustancia muy relacionada con los procesos de aprendizaje y memoria, para producir la activación cortical que tiene lugar durante los estados emocionales.

En definitiva, el aprendizaje que desencadena emociones puede ser registrado de modo más consistente en los sistemas de memoria del cerebro. Por tanto, si la percepción de dolor o de placer desencadena un estado emocional, los estímulos asociados a esa percepción se graban consistentemente en la memoria y se convierten en estímulos condicionados, es decir, adquieren la capacidad de activar por sí mismos las emociones y el comportamiento a ellas asociado. De este modo, un olor, un sabor, una voz o un rostro conocido, una melodía, una caricia o un simple pensamiento pueden ser estímu-

los condicionados capaces de evocar directamente en nosotros estados de ánimo positivos o negativos, satisfacción o desagrado. La neutralidad original de estos estímulos desaparece, se cargan de significado y se convierten en recompensas o castigos capaces de guiar nuestra conducta.

En cualquier caso, no debemos confundir la «memoria emocional» con la «memoria de las emociones». Las memorias emocionales son las memorias implícitas (inconscientes) que disparan de manera automática nuestras emociones ante estímulos capaces de producirlas innatamente (estímulos incondicionados) o por aprendizaje (estímulos condicionados). La memoria de las emociones son los recuerdos conscientes que tenemos de la situación en que originalmente se desencadenó la emoción, incluido el recuerdo de nuestro propio sentimiento. Ambos tipos de memoria pueden facilitarse por los cambios fisiológicos mencionados que se desencadenan durante la emoción, pero las memorias conscientes, basadas en la neocorteza cerebral (córtex sensorial primario y córtex de asociación) y el hipocampo (fig. 2.1), son más inestables y susceptibles de deterioro que las memorias emocionales. Estas últimas tienen una gran persistencia en nuestro cerebro. Algunos científicos creen que nos acompañan durante toda la vida y que lo único que podemos hacer cuando nos interesa evitarlas es aprender a producir respuestas incompatibles con su recuerdo. Es decir, frente al miedo o ansiedad que nos produce la inmersión en una determinada situación, lo mejor sería aprender a relajarse. Pero todos sabemos que ello no resulta nada fácil, e incluso si lo fuese, el mismo miedo puede reaparecer posteriormente, rehabilitado por situaciones como el estrés consecutivo a, por ejemplo, un accidente o una desgracia personal o familiar. En realidad, el único modo poderoso de desterrar una emoción suele ser combatirla con sus propias armas. Dicho de otro modo, la mejor manera de combatir un sentimiento emocional no deseado y recurrente consiste en generar una nueva emoción incompatible con la primera, con la que se quiere evitar. ¿O hay algún modo mejor de tratar una crisis amorosa que suscitar un nuevo romance? Nada, en definitiva, mejor que el propio y robusto mecanismo de la memoria emocional para señalar de modo permanente en nuestras vidas los estímulos asociados al dolor y al placer, a lo bueno y a lo malo.

2.3. EL MARCAJE EMOCIONAL EN LA TOMA DE DECISIONES Y LA PLANIFICACIÓN DEL FUTURO

Frecuentemente nuestros razonamientos analizan y/o simulan situaciones de la vida cotidiana con dilemas y controversias que requieren decisiones sobre las respuestas más adecuadas o ventajosas para su resolución. La experiencia común nos indica que las emociones influyen poderosamente en el modo en que razonamos y resolvemos esas situaciones. Pero ¿cómo y dónde podría tener lugar esa influencia? La hipótesis de los marcadores somáticos de Damasio nos brinda una respuesta. A saber, las emociones modulan nuestros razonamientos al menos de dos formas. Por un lado, concentran nuestra atención y nuestra memoria de trabajo en los estímulos o situaciones que resultan relevantes según nuestra historia personal. Por otro lado, permiten catalogar de forma anticipada y contundente las hipotéticas consecuencias de nuestro posible comportamiento, es decir, permiten evaluar de forma muy realística y viva las situaciones futuras en las que pudiéramos estar implicados. Ello es posible gracias a que en las situaciones de controversia la imaginación de las hipotéticas consecuencias de las diferentes opciones y nuestra memoria a largo plazo generan que nuestro organismo anticipe las reacciones cognitivas y somáticas que cada una de ellas suscitaría en nosotros. De este modo, cuando nos enfrentamos a un dilema se produce un marcaje emocional altamente significativo de esas opciones que facilita la planificación del futuro y la toma consecuente de las decisiones más ventajosas. Sin el concurso de ese marcaje, el panorama decisivo sería mucho más neutro y la solitaria y fría lógica podría resultar insuficiente para discernir las conveniencias presentes y futuras.

Las emociones podrían involucrarse en el razonamiento sobre situaciones complejas mediante las interacciones anatómicas y fisiológicas que tienen lugar entre las regiones emocionales del cerebro (donde la amígdala tiene un papel central; véase la figura 2.1) y las regiones del lóbulo frontal implicadas en el razonamiento, la resolución de problemas y la toma de decisiones. La región orbitofrontal, una porción de la corteza prefrontal del cerebro ([véanse figs. 2.1 y 2.2](#)), podría constituir una especie de interface neural entre ambos tipos de regiones y, por tanto, parece crítica para el establecimiento de una relación funcional normal entre los procesos emocionales y los racionales. Como veremos más adelante en este mismo capítulo, la integridad de la corteza orbitofrontal resulta ne-

cesaria para el desarrollo de las formas particulares de conducta que se requieren en las relaciones interpersonales y los contextos sociales. Gracias a ella somos capaces de establecer las representaciones anticipadas del valor, positivo o negativo, de las diferentes opciones que estemos considerando cuando afrontamos controversias. O lo que es lo mismo, la corteza orbitofrontal permite llevar a nuestro razonamiento (a veces incluso de forma invasiva) el valor o significado de los refuerzos (recompensas o castigos) asociados a las diferentes opciones o situaciones que pudieran derivarse de nuestra conducta.

Siendo así, la corteza orbitofrontal y otras estructuras emocionales del cerebro, como la propia amígdala, podrían estar críticamente implicadas no sólo en el comportamiento y la toma actual de decisiones y planificación futuras, sino también en el proceso de aprendizaje que desde la más temprana infancia nos permite valorar emocionalmente las situaciones, registrar esos valores en nuestro sistema de memoria a largo plazo, y construir progresivamente a lo largo de nuestra vida el código o sistema de valores funcionales, sociales y morales que guía el comportamiento. Cuando, por ejemplo, un padre, además de explicar a su hijo (digamos preadolescente) la lógica de una situación, añade consideraciones o elementos capaces de estimular los sistemas emocionales de su cerebro, no sólo está enfatizando esa lógica en la mente aún inmadura de su hijo, sino que además, como anteriormente vimos, está estimulando los procesos fisiológicos y la liberación de hormonas que contribuyen poderosamente a la formación en su cerebro de memorias robustas para esos planteamientos o situaciones.

Hay que dejar claro, no obstante, que los contenidos del código de valores que esos comportamientos permiten establecer derivan, lógicamente, de variables ambientales como la clase social, educación, costumbres e ideología de las familias, compañeros y educadores. Lo que aquí pretendemos considerar es el mecanismo neuropsicológico básico para su adquisición, pues podría ser bastante universal. La «neurología de la moral», como algún autor ha denominado a este tipo de consideraciones, está en sus comienzos, pero los neuropsicólogos, como veremos en el apartado siguiente, ya han reunido pruebas factuales de que la alteración temprana de los interfaces emoción-razón del cerebro humano puede comprometer seriamente la construcción del sistema de valores sociales y morales, así como el desarrollo normal de la personalidad de los individuos. Para una mayor profundización en el sentido funcional de las emo-

ciones y su importancia en el hombre véase, también en este mismo libro, el trabajo de F. Mora «El cerebro sintiente».

3. Deficiencias en la señalización biológica de recompensas y castigos

Hay estímulos que generan brusca e intensamente emociones. El dolor agudo de un fuerte e inesperado golpe nos sumerge instantáneamente en un humor «de perros». Casi más intenso que el dolor mismo es el estado emocional que genera. Una buena y también inesperada noticia puede tener el efecto contrario. Un pensamiento sublime, una idea nueva o creativa, nos puede llenar de satisfacción y hasta de desbordante emoción. Pero no siempre. Como ya hemos visto, las emociones se generan en sistemas cerebrales diferentes a los que procesan la información sensorial (sistemas senso-perceptivos) o a los que generan recuerdo (sistemas de memoria explícita) o razonamiento (memoria de trabajo, consciencia), por lo que es posible concebir memorias de situaciones emocionales sin que haya emoción, o razonamiento sobre una situación comprometedora o violenta sin que nos sintamos avergonzados o miedosos.

Cuando los sistemas de señalización biológica (dolor, placer, emociones) fallan o se alteran, las percepciones y/o la emoción desaparecen o se dan con escasa intensidad. Si eso ocurre, el comportamiento general del individuo resulta comprometido, cambia. La experiencia clínica de Damasio y otros neurólogos nos ha ayudado a comprobarlo. Los afortunadamente escasos individuos que por herencia genética no sienten el dolor, no sólo reaccionan poco y mal frente a los estímulos que dañan el cuerpo (quemaduras, cortes, golpes intensos) o fuerzan su organismo (por ejemplo, sus articulaciones) de modo inconveniente a su salud, sino que presentan comportamientos anodinos, como no parar de reírse. Pero más ilustrativos son aún los casos que ponen claramente de manifiesto la distinción entre la percepción primaria (dolor o placer) y el sentimiento emocional concomitante. Un paciente con dolores intensos y frecuentes manifestaba un gran estado de sufrimiento acompañando a las reacciones de ese dolor. Para tratar de aliviar su situación fue sometido a una intervención quirúrgica, la leucotomía prefrontal, consistente en lesionar parte de las fibras nerviosas (sustancia blanca) que van y vienen a la corteza frontal del cerebro. Tras la intervención, el paciente pudo sentirse relajado y aliviado. El dolor

sigue siendo el mismo, pero ahora se sentía mejor, manifestó. Es decir, el componente emocional del dolor había desaparecido tras la intervención quirúrgica. Lo que restaba era, por así decirlo, una especie de dolor neutro, sin sufrimiento, sin emoción. Un dolor, en definitiva, mucho más soportable. El efecto multiplicador de la emoción como señalizador biológico se hace así evidente.

Pero si en el caso anterior la ausencia de sufrimiento resultó beneficiosa para el paciente aquejado de dolores crónicos, en otras situaciones la ausencia de emotividad resulta claramente desfavorable o incluso perjudicial. Las personas que nacen con la rara enfermedad de Urbach-Wiethe, que produce degeneración selectiva de la amígdala de ambos hemisferios cerebrales, tienen una vida emocional pobre, con escasas reacciones sentimentales y casi nula capacidad para adquirir memorias de situaciones impactantes. Una persona normal suele tener mejor memoria para las imágenes visuales de contenido emotivo, como por ejemplo las desgracias de un accidente de tráfico o el reencuentro de un ser dado por muerto, que para las imágenes de situaciones más neutras o menos significativas, como la de alguien paseando tranquilamente por un parque. Pues bien, ha podido constatararse que las personas que tienen dañadas sus amígdalas adquieren una memoria parecida para ambos tipos de situaciones. No se benefician del mecanismo fisiológico que refuerza las memorias emocionales.

Más evidente es todavía la influencia de la emoción en el comportamiento cuando la zona lesionada resulta ser la región prefrontal, particularmente la ya anteriormente mencionada corteza orbitofrontal. Los individuos con estas lesiones conservan su inteligencia general pero parecen tener comprometida su capacidad para planificar el futuro, dejan de comportarse de un modo socialmente aceptable y toman decisiones erróneas que les perjudican más que favorecen. En realidad, todos estos cambios suponen una fuerte alteración del conjunto de su personalidad. Al menos así ocurrió en uno de los ejemplos clásicos de la literatura neuropsicológica. A mitad del siglo XIX, Phineas Gage, un joven minero de Nueva Inglaterra, sufrió un acusado cambio de su personalidad cuando una delgada barra de hierro de las que sirven para compactar la pólvora de los barrenos atravesó su cabeza y su cerebro tras una deflagración accidental. Sus actitudes y respuestas emocionales se hicieron infantiles y descontroladas y su conducta se volvió irresponsable. De modo similar y más recientemente, la extirpación de un tumor benigno que comprometía a los lóbulos frontales alteró profundamen-

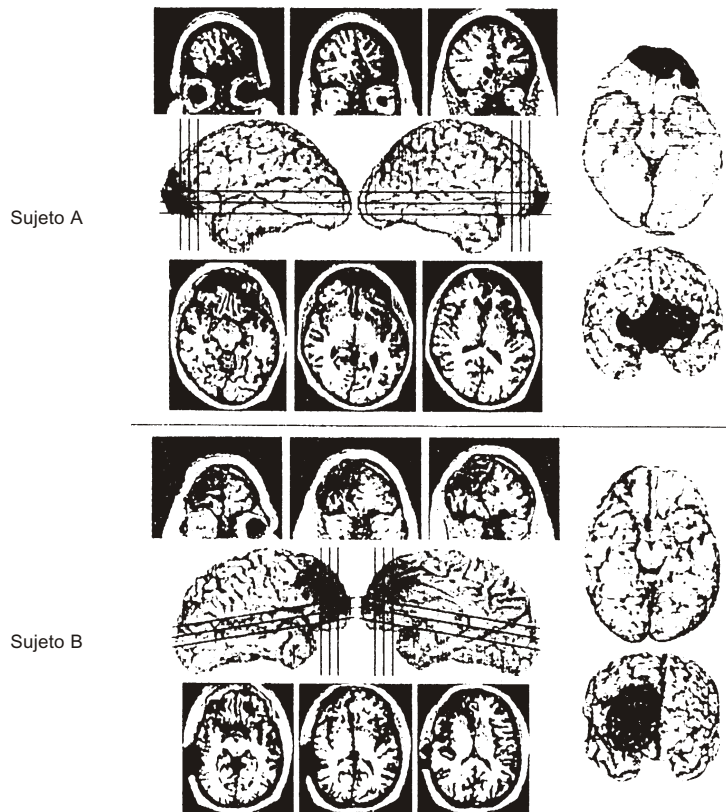
te el comportamiento y la personalidad de Elliot, un paciente de Damasio, sin mostrar carencias en la base de conocimiento social normal, ni en su lenguaje, memoria convencional, atención básica o razonamiento ordinario. Lo que sí parecían fuertemente reducidos eran su reactividad emocional y sus sentimientos. En opinión de Damasio, la falta de emotividad derivada de la cirugía impedía a su paciente asignar valores diferentes a opciones diferentes, comportando que el paisaje de su toma de decisiones fuera desesperadamente plano.

Pero además, cuando las lesiones de la corteza orbitofrontal se producen en edades muy tempranas, los individuos tienen también afectada su capacidad para establecer a lo largo de su vida un código normal de valores sociomorales. Y ésa es precisamente la situación que podíamos esperar según las consideraciones que hicimos en el apartado anterior. Damasio y sus colaboradores han podido estudiar ahora los casos de una niña de quince meses de edad que en un accidente automovilístico sufrió un importante daño bilateral en su corteza prefrontal y el de un niño de tan sólo tres meses que fue intervenido quirúrgicamente para extirparle un tumor en la corteza prefrontal derecha. Ambos se recuperaron muy bien del trauma original y crecieron con capacidad intelectual normal, pero ambos empezaron a presentar conductas personales y sociales anormales en edades tempranas. Entre otras cosas, manifestaron irresponsabilidad, falta de respuesta a castigos y recompensas, incapacidad para adoptar y cumplir normas y tener una vida ordenada, riesgos sexuales y económicos, violencia verbal y física, mentiras frecuentes, falta de planificación futura, respuestas emocionales pobres, carencia de empatía, etc., sin que la reeducación o tratamientos especiales mejorasen su condición. De este modo, su vida social presentó un deterioro progresivo y acabaron dependiendo enteramente de sus familiares o de instituciones sociales. Ambos procedían de familias de clase media, con suficientes recursos, formación y dedicación a sus hijos, pero ninguna de estas familias presentaba antecedentes u otros casos de neurología o psiquiatría que pudiesen explicar la evolución y el comportamiento de los mismos.

Cuando a partir de los veinte años se exploró el estado clínico de estos dos sujetos, las pruebas de resonancia magnética mostraron la persistencia de las lesiones en su cerebro (en la [figura 2.2](#) pueden verse estas lesiones en imágenes de resonancia magnética) y cuidadosas observaciones y pruebas conductuales realizadas en el laboratorio mostraron su incapacidad actual para distinguir lo que está



Sujetos control: 6 pacientes con lesiones prefrontales adquiridas cuando ya eran adultos



Sujetos con lesiones prefrontales adquiridas en la temprana infancia

FIG. 2.2. Localización anatómica de las lesiones cerebrales en los pacientes citados en el texto. Todos ellos presentan daño, unilateral o bilateral, en la corteza prefrontal. (Modificado de Anderson, Bechara, Damasio, Tranel y Damasio, 1999: *Nature Neuroscience*, 2 [11], 1032-1037.)

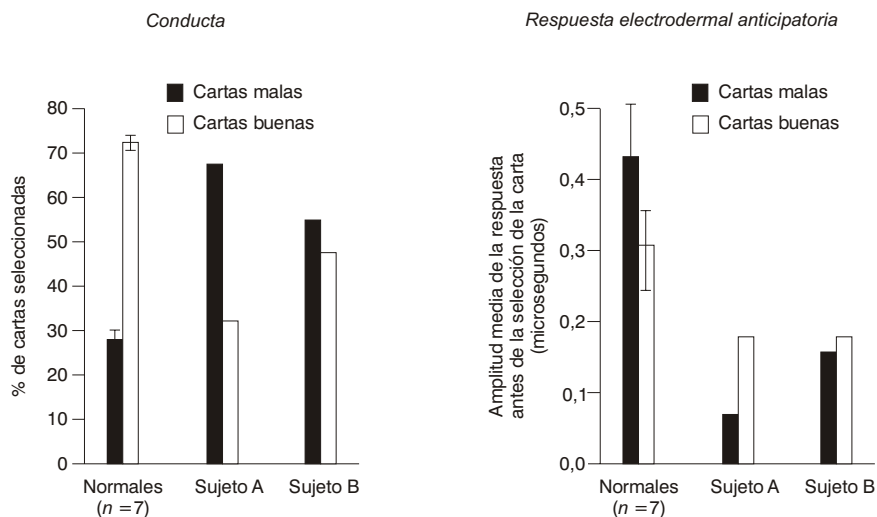


FIG. 2.3. Toma de decisiones en un juego de selección de cartas (gráfico de la izquierda) y reflejos electrodermales antes de seleccionar las cartas (gráfico de la derecha), en 7 sujetos normales y en los dos sujetos con lesiones prefrontales tempranas. En acusado contraste con los sujetos normales, los sujetos lesionados presentan muchos más errores que aciertos en la selección de cartas y tienen muy reducidas sus respuestas electrodermales anticipatorias cuando se enfrentan a la situación de decisión. (Modificado de Anderson, Bechara, Tranel y Damasio, 1999: *Nature Neuroscience*, 2 [11], 1032-1037.)

bien de lo que está mal, para tomar decisiones adecuadas y para plantear ventajosamente el futuro. Su conducta en juegos y frente a dilemas prácticos se mostró impulsiva e infantil, con reincidencias en respuestas inconvenientes que no se modificaban con la experiencia (véase la figura 2.3). Otras pruebas mostraron que estos individuos tampoco eran capaces de producir las respuestas autonómicas (por ejemplo, reflejos electrodermales) que tienen lugar en una persona normal cuando ante situaciones estimulantes imagina o intuye las consecuencias de su posible comportamiento. Es decir, carecían del «sólo de pensarlo, se me ponen los pelos de punta» (véase fig. 2.3).

Llamó poderosamente la atención en estos dos casos la aparente ausencia de moralidad, no sólo en su conducta explícita sino incluso a nivel teórico. Es decir, mientras que los individuos lesionados cuando ya eran adultos responden adecuadamente a las preguntas sobre comportamiento moral y social (incluso cuando en la práctica parecen incapaces de actuar en consecuencia), los dos sujetos que adquirieron las lesiones orbitofrontales en la infancia no parecían sensibles a las convenciones sociales o a las reglas mora-

les ni siquiera sobre el papel, es decir, cuando simplemente se les interrogaba acerca de lo bueno y lo malo. Parecían carecer de un sistema normal de valores. Y todavía más, su conducta típica presenta una extraordinaria similitud con la de los individuos catalogados clínicamente (DSM-IV) como sociópatas o psicópatas. La única excepción consiste en que el comportamiento antisocial de los lesionados pareció más impulsivo (infantil) y menos dirigido a un determinado objetivo que el que caracteriza a los psicópatas. Esto no significa que la psicopatía derive necesariamente de lesiones tempranas del cerebro, pero sí que esas lesiones pueden alterar el normal desarrollo del comportamiento sociomoral de un sujeto.

4. ¿Quién siente qué?

En primera instancia, todos tenemos la impresión de que las percepciones y los sentimientos tienen un carácter universal. Diríase que lo que uno ve, oye o siente en un momento y situación dados es también lo que ven, oyen o sienten los demás en la misma situación. Quien se emociona oyendo una melodía o constatando una situación dramática se siente inclinado a pensar que quienes también viven esas situaciones comparten, o deberían compartir, sus propios sentimientos. Pero no es así. No lo es por dos razones. La primera es de sentido común, pues cada uno de nosotros tiene un pasado, una historia personal diferente, en la que ha construido su propio esquema de valores. Pero no lo es tampoco porque la construcción de ese esquema se basa en la capacidad que tiene cada individuo para activar los sistemas emocionales de su cerebro. Y no todos los individuos parecen tener la misma.

Quienes por herencia o educación tienen reducida su reactividad emocional, no sólo sienten menos y expresan más pobremente sus sentimientos sino que tienen también limitada su capacidad para utilizar los señalizadores biológicos de la emoción en la construcción de su esquema vital de recompensas y castigos. Ello conduce obviamente a un determinado tipo de comportamiento y personalidad. Muchas personas reinciden incomprensiblemente en conductas que los demás perciben como improcedentes o incorrectas. La desaprobación social no parece suficiente para que corrijan su modo de actuar. Nos resulta, por ejemplo, increíble que una persona pueda expresarse pública y frecuentemente con lenguaje y formas irrespetuosas, agresivas o prepotentes sin sentir la misma

vergüenza o desagrado que nosotros mismos sentimos al percatarnos de su actuación. Sin duda, cada caso requiere su propio análisis y tendrá su propia explicación, no siempre simple. Pero una posibilidad que debemos considerar es que las diferencias en el sistema de valores de los individuos sean más acusadas de lo que imaginamos. Y ello puede deberse, además de a su educación, a diferencias básicas en su capacidad para sentir y expresar emociones. En casos extremos, cuando la reactividad emocional de una persona sea mínima o incluso nula, su comportamiento puede llegar a ser patológico.

En los humanos, la mayor parte de las emociones son generadas cognitivamente. La cognición nos permite además analizar las causas de nuestros sentimientos y tratar de modificar su curso. En cierto modo, la emoción es como un caballo salvaje que podemos aprender a domar. Quien conoce bien sus emociones y sabe controlarlas y expresarlas dispone de una excepcional ayuda para dirigir su acción y su comportamiento en la forma más conveniente a sus pretensiones. La llamada «inteligencia emocional» no es otra cosa que capacidad para generar, reconocer, expresar e influir emociones propias y ajenas buscando con empatía la resolución más satisfactoria de las situaciones. La mayoría de las personas poseen en mayor o menor grado este tipo de inteligencia. La excepción más que la regla parece ser la carencia acusada de la misma. Pero, en cualquier caso, la inteligencia emocional parece reservada a aquellos individuos cuyos cerebros están congénitamente dotados de sistemas eficaces para señalar y memorizar estímulos relevantes. Es decir, a los cerebros dotados de mecanismos emocionales capaces de construir a lo largo de la vida un sistema de valores (recompensas y castigos) que guíe el comportamiento de un modo adaptativo.

5. Referencias bibliográficas

- Damasio, A. (1994): *Descartes = Error*, Nueva York, Grosset-Putnam Book. (Edición castellana, *El Error de Descartes*, 1996, Barcelona, Crítica.)
- Carlson, N. (1998): «Emoción», cap. 11 de *Fisiology of Behavior*, Boston, Allyn and Bacon. (Edición castellana, *Fisiología de la conducta*, Barcelona, Ariel, 1999.)
- LeDoux, J. (1996): *The Emotional Brain*, Nueva York, Simon and Schus-

- ter. (Edición castellana, El cerebro emocional, 1999, Barcelona, Ariel-Planeta.)
- Mora, F. y Sanguinetti, A. M. (1994): Diccionario de Neurociencias, Madrid, Alianza Editorial.
- Picard, R. (1997): Affective Computing, Boston, MIT Press. (Edición castellana, Los ordenadores emocionales, 1998, Barcelona, Ariel.)

CAPÍTULO 3

DROGAS DE ABUSO Y EMOCIÓN

por MIGUEL NAVARRO
y FERNANDO RODRÍGUEZ DE FONSECA

1. Introducción. — 2. Emoción y refuerzo. — 3. Implicación del sistema límbico en la emoción. — 4. Sustrato neurobiológico del refuerzo positivo y emocional del consumo de drogas de abuso. — 5. El sistema dopaminérgico mesolímbico como diana de las drogas de abuso. — 6. Participación del complejo amigdalino en los efectos emocionales de las drogas de abuso. — 7. Sustrato neurobiológico implicado en el refuerzo negativo. — 8. Interés clínico de la convergencia de acción de las drogas de abuso. — 9. Resumen. — 10. Agradecimientos. — 11. Referencias bibliográficas.

1. Introducción

Las drogas de abuso forman parte de un reducido número de sustancias de muy diversa constitución química, que comparten la propiedad de ser autoadministradas habitualmente por los mamíferos y es la consecuencia de la acción sobre varias estructuras del sistema límbico (Kalant, 1989).

Este sistema está integrado por un grupo de áreas cerebrales implicadas íntimamente en las emociones. El consumo agudo de drogas genera estímulos apetitivos agradables (placer, euforia) o aversivos (disforia, irritabilidad, ansiedad...) cuando se dejan de administrar súbitamente, tras su consumo prolongado.

Este capítulo trata de abordar los mecanismos neurobiológicos

que provocan las drogas de abuso y los cambios emocionales derivados por aquellos factores responsables de la aparición de la conducta adictiva.

Del conocimiento y control de los citados factores dependerá el éxito para la elaboración de estrategias terapéuticas eficientes que consiga la normalización de la conducta modificada.

2. Emoción y refuerzo

Todos los mamíferos necesitan conseguir una variedad de elementos situados en el entorno para sobrevivir, de manera que a medida que se va conociendo su valor como factor de supervivencia aumenta la aproximación a él y su consumo (reforzadores). Esa capacidad se ha ido adquiriendo evolutivamente y explica por qué los reforzadores son factores motivacionales principales, que seleccionan e inician los actos intencionales orientando y gobernando la conducta para alcanzar aquellos objetivos que voluntariamente se establezcan.

La toma de decisión en la selección de un refuerzo se elabora a partir de opciones comportamentales, en virtud de tres factores: el valor motivacional del refuerzo, que depende de la cualidad, la magnitud y la probabilidad con la que el refuerzo vuelva a aparecer, del estado emocional o motivacional que posea el individuo y de la presencia de alternativas disponibles, que con frecuencia la opción resultante es la más próxima. En este caso, cuando existen varias opciones que compiten entre sí, puede predecirse la opción elegida en función de las expectativas que genera cada una de ellas en el individuo (Schultz et al., 1997).

La recompensa contribuye al aprendizaje y mantenimiento de las conductas preparatoria (de acercamiento) y consumatoria, que sirven para obtener las sustancias más importantes del entorno y contribuyen a que la supervivencia y adaptación sean más eficientes.

La predicción de una conducta y la contingencia del refuerzo está en función de la concordancia o discrepancia entre la aparición de ambas, de manera que la conducta aprendida se modifica cuando los refuerzos suceden diferencialmente con lo previsto y se mantiene cuando la recompensa ocurre como y cuando estaba prevista.

El deseo de un refuerzo puede representar un indicador de afecto o preferencia (refuerzo positivo), que en el caso del consu-

mo de drogas de abuso lo representa la búsqueda de un sabor, de efectos euforizantes, o sensaciones subjetivas agradables una vez consumida. Sin embargo, también el consumir para evitar el estado aversivo del síndrome de abstinencia puede representar un refuerzo (negativo). Los refuerzos inducen estados emocionales subjetivos, que cuando son placenteros se les denomina recompensas.

3. Implicación del sistema límbico en la emoción

Los primeros trabajos de James Papez y Paul MacLean determinaron qué componentes corticales y subcorticales eran los responsables del procesamiento de la información emocional.

En el telencéfalo, el sistema límbico está bordeando regiones diencefálicas y del tronco cerebral (limbus = que bordea), mediante un anillo funcional formado por el hipocampo, el córtex adyacente, el córtex cingulado, y un conjunto de núcleos subcorticales de las regiones septales y preópticas: la porción más medial del núcleo accumbens (shell —corteza o concha—), el complejo amigdalino y el núcleo del lecho de la estría terminal.

En el diencefalo, la habénula, el hipotálamo (fundamentalmente el hipotálamo lateral) y la zona incerta del subtálamo.

En el tronco del encéfalo están comprendidos algunos núcleos a lo largo del plano medial entre los que se incluyen el área tegmental ventral (ATV), la sustancia gris periacueductal, el núcleo interpeduncular y los núcleos dorsales del rafe ([fig. 3.1](#)) (Watson et al., 1989).

El sistema límbico está implicado en el control de las conductas emocionales y motivacionales, como las conductas alimentaria (bebida y comida), agonística o sexual; asimismo, participa en el control y en el mantenimiento del medio interno a través de los sistemas nervioso autónomo y endocrino.

Todos los organismos, desde las bacterias al humano, han desarrollado mecanismos de adaptación ante cualquier cambio significativo del entorno interno o externo. En los mamíferos, parte de esta función la lleva a cabo el eje límbico (hipotálamo-hipófiso-adrenal [HHA]). Este sistema afronta los desafíos importantes, integrando la expresión de las respuestas haciéndolas converger en una vía final común, dirigida hacia las neuronas parvocelulares mediales hipotalámicas del núcleo paraventricular (NPV). Estas

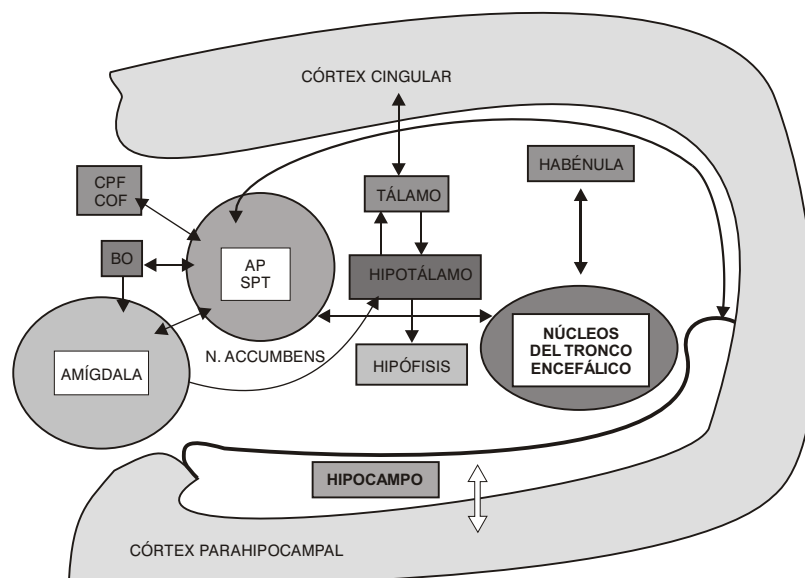


FIG. 3.1. Esquema simplificado del sistema límbico. Se pueden observar dos niveles de organización: un grupo de estructuras corticales formando un anillo periférico a otro concéntrico e interior formado por un conjunto de estructuras diencefálicas y del tronco del encéfalo. CPF, córtex prefrontal; COF, córtex orbitofrontal; BO, bulbo olfatorio; SPT, área septal; AP, área preóptica. (Rodríguez de Fonseca y Navarro, 1998.)

neuronas sintetizan la hormona liberadora de la corticotropina (CRF o CRH) y la vasopresina, que activan la eminencia media (Whitnall et al., 1987). La interacción de las citadas hormonas con los correspondientes receptores en la glándula hipofisaria pone en marcha una respuesta orquestada, en virtud de la liberación en la circulación sanguínea de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) y de algunos péptidos neuroactivos relacionados con el precursor proopiomelanocortina (POMC) (Herman et al., 1989).

Esta respuesta periférica, a través de la liberación adrenal de los glucocorticoides, genera un efecto modulador sobre las neuronas monoaminérgicas que proyectan al hipocampo y al NPV, a través de receptores de mayor afinidad por los mineralcorticoides tipo I (MR) y tipo II (GR) de mayor afinidad por los glucocorticoides. Ambos tipos de receptores están muy difusamente distribuidos en el encéfalo, pero ambos muy presentes en el hipocampo, estructura anatómica asociada íntimamente a la memoria explícita,

mientras que en el NPV predominan los receptores tipo II (Herman et al., 1989).

Por otra parte, hay que destacar la importancia de algunas estructuras del sistema límbico como lugares clave para el procesamiento e integración cognitivos, especialmente en aquellos procesos de aprendizaje y memoria explícitos (p. ej., la memoria episódica) e implícitos (condicionamiento) (Isaacson, 1982), o en la atribución afectiva de los estímulos (Rainville et al., 1997).

4. Sustrato neurobiológico del refuerzo positivo y emocional del consumo de drogas de abuso

El sistema límbico representa un papel muy importante en la comprensión de la adicción. Olds y Milner fueron los primeros autores que lograron demostrar, en 1954, un circuito cerebral implicado en el refuerzo positivo, al ser capaces de que primates y ratas se autoadministraran pequeñas descargas eléctricas a través de varios electrodos implantados en el área septal y en otras regiones cerebrales.

A partir de la reconstrucción de la cartografía de las regiones donde se mantenía la autoestimulación intracraneal se ha podido conocer un área diana donde actúan las drogas de abuso en el cerebro. El circuito cerebral de la recompensa está implicado en las propiedades reforzadoras positivas de las citadas drogas y su ubicación ha aportado un avance muy importante para el estudio de la drogodependencia.

Estudios recientes (Gardner y Vorel, 1998) sobre el mismo paradigma han relacionado la capacidad de la formación de hábitos de las drogas de abuso, en función de la capacidad de activar los circuitos de la recompensa, modificando el umbral de la recompensa cerebral en función del aumento o disminución de la estimulación de los citados circuitos.

El circuito cerebral de la recompensa se establece a partir de la interconexión sináptica de neuronas asociadas entre sí, y están incluidas la mayor parte de ellas en las regiones del sistema límbico, con preferencia en los haces mediales del cerebro anterior, siendo su origen y proyección en una dirección rostrocaudal del núcleo accumbens, el hipotálamo lateral y el área tegmental ventral (ATV).

Por último, al comienzo de los años ochenta, se describió que animales de laboratorio fueron capaces de autoinyectarse drogas

de abuso en las áreas límbicas relacionadas con el circuito de la recompensa, pero no en otros núcleos cerebrales. De ese modo se ha podido establecer qué estructuras neuroanatómicas podrían interpretar un papel más destacado en la conducta adictiva (Gardner et al., 1988 y Watson et al., 1989).

5. El sistema dopaminérgico mesolímbicocortical como diana de las drogas de abuso

Mediante numerosos estudios neurofarmacológicos se ha establecido la implicación del sistema dopaminérgico en los efectos reforzadores de las drogas de abuso. La magnitud de la recompensa muestra una relación estrecha con el grado de activación de la vía dopaminérgica ascendente mesolímbicocortical, originada en el área tegmental ventral, y que se proyecta a estructuras corticales anteriores y subcorticales del sistema límbico (Corbett y Wise, 1980).

Existen múltiples evidencias que ponen de manifiesto que los mecanismos responsables de la recompensa dependen de la integridad funcional del citado sistema dopaminérgico y de sus conexiones (Fray et al., 1983). Este sistema está compuesto por dos proyecciones principales: la vía nigroestriatal, que desde la pars compacta de la sustancia nigra proyecta al núcleo caudado de los ganglios basales y la vía mesolímbicocortical, que desde el área tegmental ventral proyecta al núcleo accumbens, el tubérculo olfatorio, el córtex frontal y amígdala. Este último circuito es el que primariamente está implicado en las acciones reforzadoras positivas de las drogas de abuso (Corbett y Wise, 1980).

Las propiedades reguladoras de la transmisión dopaminérgica frente a los reforzadores, ya sean convencionales (naturales) o drogas de abuso, dependen de qué parte funcional activan del núcleo accumbens, cuya división consta de la porción central o core y la más ventromedial o shell.

El núcleo accumbens ofrece cambios en la transmisión dopaminérgica en la porción del shell y del core en respuesta ambos a estímulos apetitivos (como la palatabilidad de los alimentos) o aversivos. De manera que aquellos estímulos apetitivos inusuales, imprevistos o incondicionados provocan una respuesta importante en el shell, mientras que la respuesta es muy pobre cuando el estímulo es aversivo o si es habitual o previsto. El core responde a estímulos

motivacionales genéricos o aversivos e incluso la respuesta puede sensibilizarse si se repite el estímulo aversivo (Salamone et al., 1999).

Estas diferentes propiedades funcionales de las porciones accumbales sugieren que la respuesta adaptativa dopaminérgica del shell se produce frente a la adquisición (aprendizaje), mientras que el core responde a la expresión de la motivación (respuesta).

Las drogas de abuso son análogas a estímulos apetitivos en la propiedad de estimular la transmisión dopaminérgica en el shell pero son incapaces de hacerlo cuando se produce la cronificación del consumo; de modo que la exposición repetida de drogas de abuso puede generar anomalías en el aprendizaje motivado, pudiendo ser la base de la incapacidad que tiene el adicto para el aprendizaje motivado y de la adquisición del deseo compulsivo (craving); e indican que su participación es crítica en la modificación drástica y anómala de los siguientes procesos: la selección de objetivos y toma de decisión cuando existen alternativas competitivas, en la capacidad de detección, evaluación o extracción de la información precisa y pertinente del entorno, ya sea en su dimensión temporal, emocional, o motivacional (Everitt, et al., 1991).

Parece probable que esta ruta neuroquímica actúe como un filtro de entrada de las señales nerviosas generadas en el sistema límbico, mediando los aspectos motivacionales que conducirían a que los estímulos asociados al consumo de drogas de abuso cobren un significado emocional especial del que antes carecían, formándose hábitos tóxicos (Piazza et al., 1989).

Sabemos que las drogas de abuso tienen propiedades reforzadoras o de recompensa, aunque se presta poca atención a los mecanismos psicobiológicos subyacentes a dichos efectos. Un caso interesante se da con el consumo de psicoestimulantes, como la cocaína o anfetamina, cuyo consumo hace que aumente el valor de los estímulos del entorno, que normalmente gobiernan nuestra conducta; de modo que los estímulos incondicionados (las recompensas naturales) y los estímulos neutros, en virtud de su repetida asociación por el consumo de estas drogas provocan profundos cambios en las propiedades afectivas de todos ellos amplificando los efectos de las drogas.

En términos comportamentales, las drogas de abuso se convierten en reforzadores condicionados capaces de transformar el valor emocional del entorno, desde el valor cero antes del consumo a otro especialmente incentivador (Robinson y Berridge, 1993) y explica

TABLA 3.1. Sustratos neurobiológicos implicados en los efectos reforzadores de las drogas de abuso (Koob et al., 1998)

Droga de abuso	Neurotransmisor	Núcleo
Psicoestimulantes	Dopamina Serotonina	Accumbens Amígdala
Opiáceos	Dopamina Péptidos opioides	Área T. ventral Accumbens
Nicotina	Dopamina Péptidos opioides	Área T. ventral Accumbens Amígdala?
Cannabinoides	Dopamina Péptidos opioides	Área T. ventral Amígdala
Etanol	Dopamina Péptidos opioides Serotonina Gaba Glutamato	Área T. ventral Accumbens Amígdala

la sensibilización a los efectos de los psicoestimulantes tiempo después de haberlos consumido (Robbins y Everitt, 1999).

La modificación de la señal dopaminérgica es trascendental para comprender el efecto comportamental de las drogas de abuso, pero también es importante notar que otros neurotransmisores y péptidos neuroactivos participan en la relevancia de los estímulos representando una atribución especial en la atención y procesamiento perceptivo de sus efectos (tabla 3.1). Esto permite pensar, desde el punto de vista clínico, que el control de estos estímulos puede ayudar a amortiguar el inicio o desarrollo de la adicción, y su participación en las recaídas.

6. Participación del complejo amigdalino en los efectos emocionales de las drogas de abuso

Aunque no existe una idea clara sobre qué sistemas neuronales están implicados per se en la magnitud de la codificación de la recompensa y en la atribución de los efectos de las drogas de abuso u otros estímulos apetitivos naturales (Koob y Nestler, 1997), parece lógico que existan circuitos adicionales al mesolímbicocortical, que permitan asociar los efectos de las drogas con estímulos del entor-

no, de manera que pueda establecerse una asociación de estos factores que permitan predecir emociones futuras o expectativas (Schultz et al., 1997) y detectar también posibles errores en la predicción de las mismas.

Es probable que en esta función participe un circuito que incluye al núcleo accumbens y estructuras basales del cerebro anterior con el núcleo pálido ventral, en el que neurotransmisores como GABA y los péptidos opioides proyectan la señal nerviosa hacia áreas del cerebro anterior y medio, a través del factor liberador de la hormona corticotropina (CRF), la sustancia P y el GABA (Koob et al., 1993).

Mediante registros electrofisiológicos en el referido núcleo accumbens, en roedores que se autoadministraban intravenosamente cocaína, se ha podido observar que un grupo de neuronas se activan anticipadamente a la respuesta cuando se inicia la presión de la palanca liberadora de la cocaína; y que un segundo grupo cambia su patrón de activación una vez que ha llegado la infusión intravenosa a las neuronas implicadas en el refuerzo de la cocaína. Y por último, otro tercer grupo de neuronas, que se activan antes y después de la infusión, dependiendo si el tipo de estímulo asociado fue sensorial (luz o sonido) o exclusivamente a los efectos farmacológicos de la droga (Carelli et al., 1997).

Parece que el papel interpretado por este núcleo podría mediar las respuestas condicionadas por la droga y en la misma medida por los diferentes estímulos sensoriales. De ese modo, los citados estímulos podrían ser inductores potentes del deseo irrefrenable del consumo de la cocaína en el humano (Koob et al., 1998).

También en el circuito citado se incluye un grupo de estructuras neuronales interconectadas entre sí, a las que se les conoce como la amígdala extendida, que incluye al núcleo central de la amígdala, la corteza del núcleo accumbens, el núcleo del lecho de la estría terminal y la sustancia innominada sublenticular (Heimer y Alheid, 1991). Entre sus aferencias están comprendidos la mayoría de los componentes límbicos como: el ATV, el hipotálamo lateral, el septo lateral, los córtex olfatorio, entorrinal y frontal, el hipocampo, la amígdala basolateral y varios núcleos del tálamo. Siendo sus principales eferencias al pálido ventral, al hipotálamo lateral y áreas límbicas del cerebro medio (ATV, sustancia gris periacueductal, núcleos del rafe, etc.).

Todas estas estructuras participan parcial o totalmente en la

implicación de la señal provocada por los efectos motivacionales y emocionales de la administración aguda de las drogas de abuso.

El circuito de la amígdala extendida es un lugar diana de drogas que actúan a través del sistema opioide, y en particular sobre el receptor μ , identificado como el mayor contribuyente en la participación de estado emocional que caracteriza la dependencia a los opiáceos (Maldonado et al., 1996). En estas mismas estructuras coexisten otros receptores también acoplados a las proteínas G y que activan un sistema de transducción similar; es el caso del receptor CB_1 , que forma parte del sistema endocannábico, en el que sus ligandos endógenos, anadamida y el 2-araquidonilglicerol, actúan a través de dos subtipos de proteína G (Piomelli et al., 1998).

El receptor CB_1 es el más abundante y más ampliamente distribuido en el sistema nervioso central y media en las propiedades emocionales y recreacionales de los derivados de la planta *Cannabis sativa* (Devane et al., 1988 y Henkerham et al., 1990). Estos hechos pueden hacer pensar que el sistema endocannábico forma parte de los factores que participan en la neuroadaptación responsable de la dependencia por el consumo crónico de las drogas de abuso y en sus consecuencias emocionales. Más adelante podremos ver la posible relevancia de la confluencia de mecanismos en la que participan varios sistemas de neurotransmisión en los efectos del consumo de drogas.

7. Sustrato neurobiológico implicado en el refuerzo negativo

La transición entre el consumo ocasional o esporádico y la dependencia está delimitada por estadios relativamente estables en los que predomina una sensación progresivamente aversiva, haciéndose más marcada a medida que la tolerancia merma los efectos agudos de la droga, y la neuroadaptación induce la dependencia (Koob y Bloom, 1988).

El síndrome de abstinencia (s. de a.) sobreviene una vez que los niveles plasmáticos de la droga caen vertiginosamente o es provocado por un fármaco antagonista del receptor donde actúa primariamente la droga de abuso (Navarro et al., 1991).

Sin embargo, debido a las características farmacocinéticas hay algún caso, como ocurre con los derivados del cannabis, que son intensamente lipofílicos y se almacenan en el tejido graso, de modo

que una vez que se cesa en el consumo puede transcurrir un tiempo muy prolongado hasta desaparecer del plasma (desde más de dos semanas hasta pasadas cuatro, según sea un consumo esporádico a crónico, respectivamente), esta variable farmacocinética puede evitar una sintomatología abrupta, contrariamente a lo que ocurre en drogas como los opiáceos o etanol, a pesar de que las consecuencias neuroadaptativas cerebrales tengan mecanismos análogos, y por ende las consecuencias clínicas a largo plazo no difieran tan notablemente como pueda parecer (Rodríguez de Fonseca et al., 1997).

Paralelamente a la instauración del estado aversivo se le asocian otros estímulos condicionados, provocando la aparición de un conjunto de señales internas premonitorias, y va conduciendo a la búsqueda de la droga, como motivación progresivamente más angustiosa e incontrolada (*craving*), que define el estado adictivo y la pérdida del control en la toma de la droga (Koob et al., 1998).

Al estado adictivo también contribuye un tono general disfórico, muy similar al que provoca el estrés, con irritabilidad, ansiedad y anhedonia, en el que los refuerzos naturales no son lo suficientemente potentes para conducir la conducta y motivarla, debido a una profunda alteración en la regulación del CRF, consecuencia de la neuroadaptación neurobiológica por el consumo mantenido de la droga (Souza y Grigoriadis, 1995).

En la adicción, la amígdala cerebral representa una estructura íntimamente implicada en la expresión de los efectos disfóricos, y está directamente relacionada con el refuerzo negativo provocado por el s. de a. o el estado anhedónico, ambos derivados de los efectos crónicos del consumo de drogas (Merlo-Pich et al., 1995).

La amígdala establece un punto de confluencia muy relevante en la respuesta del estrés, como adaptación al desafío que representa esta situación. De hecho, se ha podido demostrar que en el momento del s. de a., la amígdala inicia y orquesta el citado fenómeno, proyectando la secreción de CRF a muchas estructuras (fig. 3.2).

Ese hecho se ha constatado en múltiples drogas de abuso, como el etanol, morfina, psicoestimulantes, y más recientemente, con los cannabinoides; e integra varios niveles (neuroquímico, neuroendocrino, comportamental, etc.) de expresión del refuerzo negativo.

Estas evidencias hacen pensar que el estado adictivo puede facilitar la presentación de patologías neuropsiquiátricas asociadas, que confluyen en graves alteraciones en la secreción de CRF (tabla 3.2).

Nosotros hemos podido observar que el tratamiento perinatal

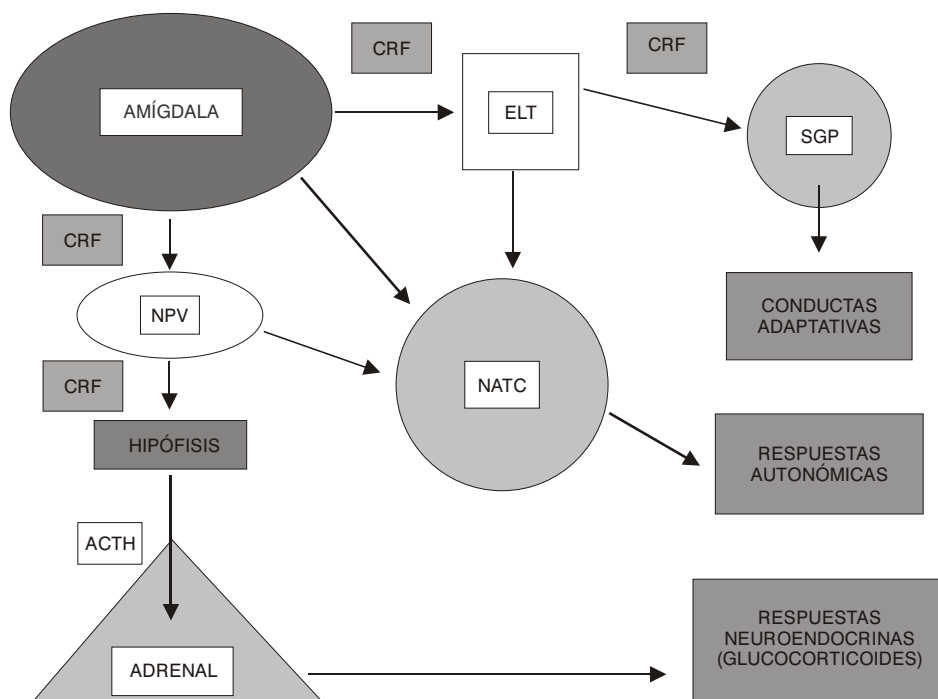


FIG. 3.2. Representación gráfica del factor liberador de la corticotropina (CRF), como elemento integrador de los tres niveles de expresión del estrés. Este circuito coordina la respuesta adaptativa a un desafío significativo, y también representa la activación del eje límbico-hipotálamo-hipófiso-adrenal (HHA) después del consumo agudo de drogas de abuso y en el síndrome de abstinencia tras el consumo crónico. ELT, estría del núcleo del lecho terminal; SGP, sustancia gris periacueductal; NPV, núcleo paraventricular; NATC, núcleos autonómicos del tronco cerebral (área tegmental ventral, locus coeruleus, núcleos del rafe, etc.). (Rodríguez de Fonseca y Navarro, 1998.)

TABLA 3.2. Influencia del CRF en algunos trastornos neuropsiquiátricos y neurodegenerativos. El trastorno en la regulación de la liberación del CRF puede provocar implicaciones clínicas. El aumento de activación del eje hipotálamo-hipófiso-adrenal es una característica del estado adictivo (Fray et al., 1983)

Aumento de señal	Disminución de señal
— Depresión mayor	— Enfermedad de Parkinson
— Trastornos de ansiedad y estrés	— Anhedonia
— Anorexia nerviosa	— Enfermedad de Huntington (ganglios basales)
— Enfermedad de Alzheimer	
— Adicción	

con cannabinoides provoca, una vez adulto, una respuesta marcadamente alterada por la activación permanente del eje HHA, manifestándose tanto en la secreción neuroendocrina de ACTH, como de glucocorticoides (Navarro et al., 1994), o en aquellas conductas relacionadas con la expresión emocional (Navarro et al., 1995).

Esto puede tener interés, desde el momento en que las drogas de abuso generan un enorme caudal de cambios a largo plazo, que están insuficientemente estudiados, y probablemente expliquen la elevada comorbilidad psiquiátrica que tienen los adictos a las drogas.

Los múltiples estímulos asociados al estado aversivo en la adicción provoca el condicionamiento de distintos órdenes, capaces de poner en marcha el desencadenamiento de las típicas recaídas, que caracterizan esta enfermedad crónica y explican que el adicto tome precauciones para evitarlas (acopio de la droga). Este hecho puede provocar una sensación de búsqueda permanente en algunos adictos, incapacitándoles para compartirla con otra actividad.

8. Interés clínico de la convergencia de acción de las drogas de abuso

Existen elementos neuronales comunes que participan en los cambios emocionales y motivacionales del estado adictivo, provocados por la neuroadaptación celular y molecular (Rodríguez de Fonseca y Navarro, 1998).

Estos cambios se producen por la administración crónica de cualquier droga de abuso, y son la causa de una prolongada neuroadaptación, aunque existen diferencias individuales en el cambio de estos mecanismos y sería una idea muy interesante implicarlas en las modificaciones comportamentales, consecuencia de los cambios plásticos del tejido neuronal que contribuye a la conducta compulsiva de la toma de drogas (Navarro y Rodríguez de Fonseca, 1998).

Los cambios comunes provocados por la administración crónica son factores de vulnerabilidad, y el consumo previo puede contribuir al incremento de los efectos adictivos de otras drogas de abuso o a la formación de hábitos tóxicos que predispongan a ejercer una mayor vulnerabilidad adictiva (Piazza et al., 1989); así puede explicarse el fenómeno de la escalada de drogas.

Las citadas modificaciones son achacables, en primer lugar, al desequilibrio en la regulación del sistema mesolimbocortical, ob-

servadas por registros electrofisiológicos y neuroquímicos; así se ha podido observar cómo el consumo crónico de drogas produce una marcada disminución de la liberación de dopamina en el núcleo accumbens, provocando profundos cambios funcionales en el citado sistema y la merma de los efectos de cualquier reforzador (Piazza et al., 1996).

En segundo lugar, existen neuroadaptaciones estables en la regulación de la expresión génica, como es el caso de anomalías en un tipo de factor de transcripción (Fos B), que parece explicar en parte el mecanismo molecular subyacente a la adicción (Nestler et al., 1996); algo similar sucede en los resultados obtenidos en múltiples estudios sobre alcoholismo, donde se ponen de manifiesto que muchas diferencias individuales son debidas a cambios genéticos y comparten con otras drogas de abuso los mismos factores de riesgo o de protección, por ejemplo, la tendencia a preferir soluciones alcohólicas en ratones viene definida por cambios en genes concretos, que expresan una gran variedad de receptores (D_2 , $5-HT_{1B}$, $GABA_A$, Htr 1b, etc.). Estas evidencias enfatizan que la propiedad reforzadora de las drogas de abuso no es genéticamente molítica y que las diferencias comportamentales probablemente residan en distintos sustratos neurobiológicos.

El conocimiento más detallado del genoma humano nos acercará a la disponibilidad de secuencias parciales genómicas que puedan representar filtros, donde la expresión genómica pueda valorarse y conocer qué tipo de genes se alteran como consecuencia de la exposición crónica a las drogas de abuso (Crabbe et al., 1999).

En tercer lugar, existen características neurobiológicas comunes entre la formación de hábitos por las drogas y la capacidad de secreción del eje HHA, en ambos casos se elevan los niveles de glucocorticoides por la administración aguda y por el síndrome de abstinencia.

Como hemos indicado anteriormente, los glucocorticoides tienen receptores específicos en varios puntos claves del sistema límbico, como en el hipocampo y en el ATV; estos receptores son factores transcripcionales específicos y sirven de puente común entre los desafíos ambientales, los mecanismos genómicos de la plasticidad neuronal, y la neuroadaptación de otros señalizadores celulares (McEwen et al., 1986).

La secreción de glucocorticoides se produce en respuesta a múltiples estímulos relacionados con el inicio y mantenimiento del estrés (Thierry et al., 1976), el consumo agudo de drogas de abuso

(Piazza et al., 1989), el síndrome de abstinencia (Rodríguez de Fonseca et al., 1997), algunos trastornos neuropsiquiátricos (Souza y Grigoriadis, 1995), etc.

También es muy interesante remarcar la interacción entre los glucocorticoides y la dopamina, de manera que para que ésta posea propiedades reforzadoras es imprescindible que el eje HHA esté indemne, y que la supresión de su secreción provoca efectos similares a los fármacos antipsicóticos (Piazza et al., 1996) genera que los cambios inducidos por esos factores y el consumo de drogas de abuso perfilen un fenotipo de vulnerabilidad a los efectos reforzadores de las drogas de abuso y la coexistencia de patología dual con los trastornos mentales, en cuya etiopatogenia intervenga la alteración de la regulación de la dopamina o del eje HHA (Rubio et al., 1995).

Por último, la confluencia de los sistemas opioide y cannábico, ambos participan en mecanismos responsables de la neuroadaptación que induce la adicción, y pueden representar un factor importante en la transición del estado adictivo. La reciente demostración neurohistoquímica y comportamental de que el sistema endocannábico está presente en la adicción a opiáceos y que ambos sistemas pueden influenciarse mutuamente, por la localización de los receptores μ y CB_1 en la amígdala central y el complejo habenular (Navarro et al., 1998) podrían indicar mecanismos convergentes en los cambios que subyacen a la vulnerabilidad de los efectos emocionales por el consumo previo de diferentes drogas.

Sin embargo, también la citada interacción puede abrir caminos para establecer nuevas vías terapéuticas para el tratamiento y para el estudio de la conducta adictiva (Navarro et al., 1998); así como ampliar el conocimiento para el control de aquellos factores que pueden contribuir a establecer el paso cualitativo entre los mecanismos neurobiológicos responsables de los estados emocionales transitorios, que limitan la frontera entre el consumo ocasional de drogas y la adicción.

9. Resumen

El sistema límbico es el responsable del procesamiento y expresión de las emociones producidas por los estímulos apetitivos naturales y por el consumo de drogas de abuso. La vía mesolímbico-cortical participa en las propiedades reforzadoras de los efectos

agudos de las drogas a través de múltiples señales en las que la activación dopaminérgica puede dejar una huella neurobiológica, modificando el significado emocional y relevancia de aquel estímulo asociado al consumo de las drogas, con los que tenía previamente.

El estado adictivo se caracteriza por los profundos cambios emocionales que provoca el consumo mantenido de la droga, pues en él subyace un tono emocional aversivo creciente que de no interrumpirse por un nuevo consumo alcanza su máxima expresión en el síndrome de abstinencia, y en paralelo, se establece el mismo curso temporal en el deseo compulsivo de consumir la droga, unido a la pérdida del control del límite.

En el estado adictivo están implicadas algunas estructuras cerebrales integradas en la amígdala extendida, estableciéndose un circuito en el que existen puntos confluyentes donde interactúan varios sistemas neuroquímicos en diversos niveles de integración, de manera que el consumo crónico provoca cambios neuroadaptativos relativamente estables que caracteriza la adicción.

Se propone acentuar como enfoque terapéutico que en aquellos mecanismos neuroadaptativos producidos por la confluencia de la acción de las diversas drogas, el entorno y la propia respuesta del individuo, todos ellos pueden actuar como factores de vulnerabilidad adictiva y neuropsiquiátrica, que incrementan y cronifican la conducta adictiva.

10. Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo a su investigación: a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (PM 96/0047) y a la Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas.

11. Referencias bibliográficas

- Carelli, R. M. y Deadwyler, S. A. (1997): «Dual factors controlling activity of nucleus accumbens cell-firing during cocaine self-administration», *Synapse*, 24: 308-311.
- Chiara, G. di (1995): «The role of dopamine in drug abuse viewed from the perspective of its role in motivation», *Drug. Alcohol. Depend.*, 38: 95-137.

- Corbett, D. y Wise, R. A. (1980): «Intracranial self-stimulation in relation to the ascending dopaminergic systems of the midbrain: a moveable electrode mapping study», *Brain Res*, 185: 1.
- Crabbe, J. C.; Phillips, T. J.; Buck, K. L.; Cunningham, C. L. y Belknap, J. K. (1999): «Identifying genes for alcohol and drug sensitivity: Recent progress and future directions», *TINS*, 22: 173-179.
- Devane, W. A.; Dysarz, F. A.; Johnson, M. R.; Melvin, L. S. y Howlett, A. C. (1988): «Determination and characterization of a cannabinoid receptor in rat brain», *Mol. Pharmacol.*, 34: 605-613.
- Everitt, B. J.; Morris, K. A.; O'Brien, A. y Robbins, T. W. (1991): «The basolateral amygdala-ventral striatal system and conditioned place preference: further evidence of limbic-striatal interactions underlying reward-related processes», *J. Neurosci.*, 42: 1-18.
- Fray, P. J.; Dunnett, S. B.; Iversen, S. D.; Björklund, A. y Stenevi, U. (1983): «Nigral transplants reinnervating the dopamine-depleted neostriatum can sustain intracranial self-stimulation», *Science*, 219: 416.
- Gardner, E. L.; Paredes, W.; Smith, D. y Donner, A. et al. (1988): «Facilitation of brain stimulation reward by delta-9-tetrahydrocannabinol», *Psychopharmacology*, 96: 142-144.
- Gardner E. L. y Vorel, S. R. (1998): «Cannabinoid transmission and reward-related events», *Neurobiol. Disease*, 5: 502-533.
- Heimer, L. y Alheid, G. (1991): «Piecing together the puzzle of basal forebrain anatomy», en T. C. Napier, P. W. Kalivas e I. Hanin (eds.), *The Basal Forebrain: Anatomy to Function*, Nueva York, Plenum Press, pp. 1-42.
- Herkenham, M.; Lynn, A. B.; Little, M. D.; Johnson, M. R.; Melvin, L. S.; De Costa, B. R. y Rice, K. C. (1990): «Cannabinoid receptor localization in brain», *Proc. Natl.-Acad. Sci.*, 87: 1932-1936.
- Herman, J. P.; Patel, P. D.; Akil, H. y Watson, S. J. (1989): «Localization and regulation of glucocorticoid and mineralcorticoid receptor messenger RNAs in the hippocampal formation of the rat», *Mol. Endocrinol.*, 3: 1886-1894.
- Isaacson, R. L. (1982): *The Limbic System*, Nueva York, Plenum Press, 2.^a ed.
- Kalant, H. (1989): «The nature of addiction: An analysis of the problem», en A. Goldstein (ed.), *Molecular and cellular aspects of the drug addictions*, Springer-Verlag, pp. 1-28.
- Koob, G. F. y Bloom, F. E. (1988): «Cellular and molecular mechanisms of drug dependence», *Science*, 278: 715-723.
- Koob, G. F.; Carrera, M. R. A.; Gold, L. H.; Heyser, C. J.; Maldonado-Irizarry, C.; Markou, A.; Parsons, L. H.; Roberts, A. J.; Schulteis, G. y Stinus, L. et al. (1998): «Substance dependence as a compulsive behavior», *J. Psychopharmacol.*, 12: 39-48.
- Koob, G. F. y Nestler, E. J. (1997): «The neurobiology of drug addiction», *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci.*, 9: 482-497.
- Koob, G. F.; Robledo, P.; Markou, A. y Caine, S. B. (1993): «The mesocorti-

- colimbic circuit in drug dependence and reward — a role for extended amygdala?», en P. W. Kalivas y C. D. Barnes (eds.), *Limbic Motor Circuits and Neuropsychiatry*, Boca Raton, FL, CRC Press, pp. 289-309.
- Koob, G. F.; Sanna, P. P. y Bloom, F. E. (1998): «Neuroscience of Addiction», *Neuron*, 21: 467-476.
- Maldonado, R.; Blendy, J. A.; Tzavara, E.; Gass, P. y Roques, B. P. et al. (1996): «Reduction of morphine abstinence in mice with a mutation in the gene encoding CREB», *Science*, 273: 657-659.
- Merlo-Pich, E.; Lorang, M.; Yeganeh, M.; Rodríguez de Fonseca, F.; Raber, J.; Koob, G. F. y Weiss, F. (1995): «Increase of extracellular corticotropin-releasing factor-like immunoreactivity levels in the amygdala of awake rats during restraint stress and ethanol withdrawal as measured by microdialysis», *J. Neurosci.*, 15: 5439-5447.
- McEwen, B. S.; Kloet, E. R. de y Rostene, W. (1986): «Adrenal steroid receptors and actions in the nervous system», *Physiol. Rev.*, 66: 1121-1188.
- Navarro, M.; Chowen, J.; Carrera, R.; Arco, I. del; Villanúa, M. A.; Martín, Y.; Roberts, A. J.; Koob, G. F. y Rodríguez de Fonseca, F. (1998): «CB cannabinoid receptor antagonist-induce opiate withdrawal in morphine-dependent rats», *Neuroreport*, 9: 3397-3402.
- Navarro, M.; Leza, J. C.; Lizasoain, I. y Lorenzo, P. (1991): «Influence of Psychogenetics in Opiate Tolerance and Abstinence in Mice», *General Pharmacology*, 22 (4): 713-716.
- Navarro, M. y Rodríguez de Fonseca, F. (1998): «Early Cannabinoid Exposure as a Source of Vulnerability to Opiate Addiction: A Model in Laboratory Rodents», *Span. J. Psychol.*, 1 (1): 39-58.
- Navarro, M.; Rubio, P. y Rodríguez de Fonseca, F. (1994): «Sex-dimorphic psychomotor activation after perinatal exposure to (-)- Δ^9 -tetrahydrocannabinol. An ontogenic study in Wistar rats», *Psychopharmacology*, 116: 414-422.
- (1995): «Behavioural consequences of maternal exposure to natural cannabinoids in rats», *Psychopharmacology*, 122: 1-14.
- Nestler, E. J.; Berhow, M. T. y Brodtkin, E. S. (1996): «Molecular mechanisms of drug addiction: Adaptations in signal transduction pathways», *Mol. Psychiatr.*, 1: 190-199.
- Olds, J. y Milner, P. (1954): «Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of rat brain», *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 47: 419-427.
- Piazza, P. V.; Barrot, M.; Rougè-Pont, F. et al. (1996): «Suppression of glucocorticoid secretion and antipsychotic drugs have similar effects on the mesolimbic dopaminergic transmission», *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93: 15445-15450.
- Piazza, P. V.; Deminiere, J. M.; Le Moal, M. y Simon, H. (1989): «Factors that predict individual vulnerability to amphetamine self-administration», *Science*, 245: 1511-1513.
- Piazza, P. V. y Le Moal, M. (1996): «Pathophysiological basis of vulnerabi-

- lity to drug abuse: role of an interaction between stress, glucocorticoids and dopaminergic neurons», *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 36: 359-378.
- Piomelli, D.; Beltramo, M.; Giuffrida, A. y Stella, N. (1998): «Endogenous Cannabinoid Signaling», *Neurobiol. Disease*, 5 (6): 462- 473.
- Rainville, P.; Duncan, G. H.; Price, D. D.; Carrier, B. y Bushnell, C. (1997): «Pain Affect encoded in Human Anterior Cingulate But Not Somatosensory Cortex», *Science*, 277: 968-971.
- Robbins, T. W. y Everitt, B. J. (1999): «Drug addiction: bad habits add up», *Nature*, 398: 567-570.
- Robinson, T. E. y Berridge, K. C. (1993): «The neural basis of drug craving: An incentive-sensitization theory of addiction», *Brain Res. Rev.*, 18: 247-291.
- Rodríguez de Fonseca F.; Carrera, M. R. A.; Navarro, M.; Koob, G. F. y Weiss, F. (1997): «Activation of corticotropin-releasing factor in the limbic system during cannabinoid withdrawal», *Science*, 276: 2050-2054.
- Rodríguez de Fonseca, F. y Navarro, M. (1998): «Role of the limbic system in dependence on drugs», *Ann. Med.*, 30: 397-405.
- Rubio, P.; Rodríguez de Fonseca, F.; Muñoz, R. M.; Ariznavarreta, C.; Martín-Calderón, J. L. y Navarro, M. (1995): «Long-term behavioral effects of perinatal exposure to Δ^9 -tetrahydrocannabinol. in rats: Possible role of pituitary-adrenal axis», *Life Sci.*, 56 (23/24): 2169-2176.
- Salamone, J. D.; Aberman, J. E.; Sokolowsk, J. D. y Cousins, M. S. (1999): «Nucleus accumbens dopamine and rate of responding: Neurochemical and behavioral studies», *Psychobiology*, 27 (2): 236-247.
- Schultz, W.; Dayan, P. y Montague, P. R. (1997): «A neural substrate for prediction and reward», *Science*, 275: 1593-1599.
- Souza, E. B. de y Grigoriadis, D. E. (1995): «Corticotropin-Releasing Factor: Physiology, Pharmacology, and role in Central Nervous System and Immune Disorders», en F. Bloom y D. Kopfer (eds.), *Psychopharmacology: The Fourth Generation of Progress*, Raven Press, Nueva York, pp. 505-517.
- Thierry, A. M.; Tassin, J. P.; Blanc, G. y Glowinski, J. (1976): «Selective activation of the mesocortical dopamine system by stress», *Nature*, 263: 242-243.
- Watson, S. J.; Trujillo, K. A.; Herman, J. P. y Akil, H. (1989): «Neuroanatomical and Neurochemical Substrates of Drug-Seeking Behavior: Overview and Future Directions», en A. Goldstein (ed.), *Molecular and cellular aspects of the drug addictions*, Springer-Verlag, pp. 29-91.

CAPÍTULO 4

CEREBRO, EMOCIÓN
Y LA RESPUESTA SEXUAL HUMANA

por MANUEL MAS

1. Componentes de la respuesta sexual humana; 1.1. Deseo; 1.2. Excitación; 1.3. Orgasmo; 1.4. Resolución/saciación; 1.5. Respuesta extragenital. — 2. Hormonas y función sexual; 2.1. Dependencia hormonal de la conducta sexual animal; 2.2. Influencias hormonales en la sexualidad humana. — 3. Mecanismos neurofisiológicos de la respuesta sexual; 3.1. Inervación periférica; 3.2. Integración espinal; 3.3. Mecanismos cerebrales; 3.3.1. Datos básicos de la experimentación animal; 3.3.1.1. Área preóptica medial-hipotálamo anterior; 3.3.1.2. Amígdala y circuitos límbicos; 3.3.1.3. Estriado ventral; 3.3.1.4. Hipotálamo medial; 3.3.1.5. Tronco cerebral; 3.3.2. Estudios en humanos; 3.3.2.1. Efectos sexuales de lesiones cerebrales; 3.3.2.2. Estimulación y registro de la actividad eléctrica; 3.3.2.3. Actividad metabólica cerebral. — 4. Perspectivas futuras. — 5. Referencias bibliográficas.

La manera en que nos reconocemos y expresamos como seres sexuales constituye un importante capítulo de nuestra experiencia vital. La vivencia de la sexualidad contribuye de modo sustancial al estado de salud y bienestar de cada persona, repercutiendo incluso en su esperanza de vida (Davey Smith et al., 1997) y en la calidad de sus relaciones interpersonales y con el resto de la sociedad. Sabemos que está influida por una multitud de factores biológicos,

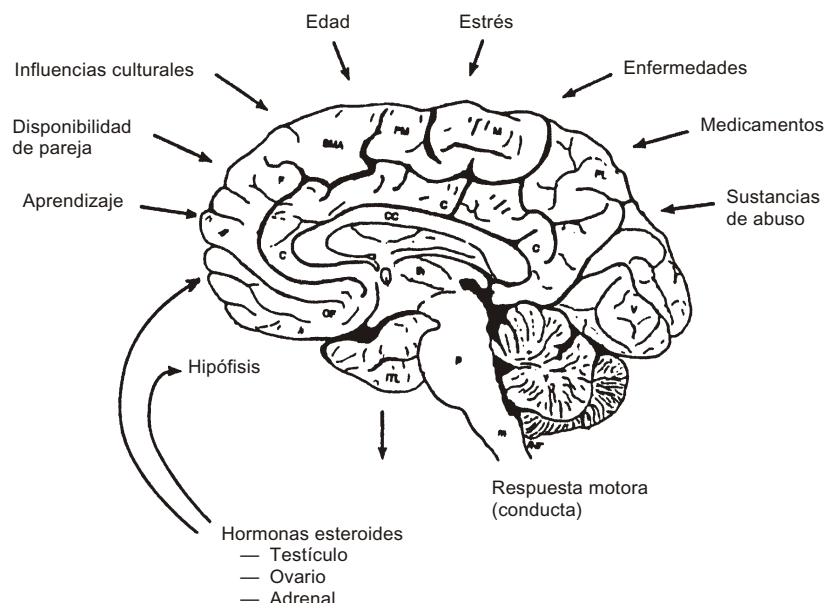


FIG. 4.1. Influencias sobre la conducta sexual.

psíquicos, biográficos, culturales y sociales (fig. 4.1). Sus enormes posibilidades de combinación dan cuenta de la gran variabilidad de la experiencia sexual humana; sin duda, una de las características más singulares de cada persona. Tales influencias psíquicas y sociales operan sobre un sustrato biológico, un organismo regido por un cerebro, cuyo estado funcional puede afectar notablemente la respuesta del individuo. Sobre el sistema nervioso influyen también señales procedentes del propio organismo, destacando entre ellas las hormonales (fig. 4.1). Este componente biológico, compartido en lo esencial con los demás miembros de la especie, y en diversa medida con muchas otras del mundo animal, es uno de los aspectos de la sexualidad más susceptibles de indagación científica.

Las pautas del comportamiento sexual humano son diversas y complejas. La variabilidad es mayor en las etapas iniciales (cortejo), aunque hay algunos patrones de flirteo y señales de atracción sexual virtualmente universales, resistentes a las barreras transculturales. En todas las sociedades humanas la gente puede querer realizar actos sexuales por una multitud de motivos, que se pueden combinar en proporciones muy variables: a) procreación («sexo reproductivo»), estimándose mínimo el porcentaje de coitos que se realizan con este propósito expreso; b) logro de placer e intimidad afectiva («sexo re-

creativo»), y c) como medio para lograr una multitud de otros fines («sexo instrumental»), tan diversos como la afirmación de la propia identidad, expresión de poder y dominación, rebelión contra la autoridad, apaciguamiento y reconciliación, infligir castigo y humillación, combatir la soledad o el aburrimiento, conseguir bienes materiales o posición social, ganarse la vida y un largo etcétera. Sin olvidar su valor capital como vehículo de expresión de amor.

La conducta sexual se acompaña de una serie de cambios neurofisiológicos y hormonales 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. A su conjunto se le ha llamado la Respuesta Sexual (RS).

1. Componentes de la respuesta sexual humana

El concepto de la RS ganó gran aceptación desde el trabajo pionero de Masters y Johnson (1966), quienes lo emplearon para describir el conjunto de cambios fisiológicos registrados en gran número de hombres y mujeres durante su actividad coital o masturbatoria. Su modelo distinguía cuatro fases de la respuesta fisiológica: Excitación, «Plateau» o Meseta (estado de intensa excitación sostenida), Orgasmo, Resolución (esquema EPOR). Este esquema fue posteriormente revisado desde la experiencia clínica (Kaplan, 1979) incorporando el Deseo Sexual como importante componente independiente, mientras que la identidad de la fase de «plateau» fue relativizada como un estadio elevado de la fase de Excitación (esquema DEOR de Kaplan). Dicho modelo ha ganado gran aceptación, basándose en él la clasificación de los trastornos sexuales del DSM-IV. Junto a tales esquemas lineales del desarrollo de la RS se han propuesto modelos cíclicos que resaltan la interacción entre las fases (Bancroft, 1989; Graziottin, 1998).

En el análisis del ciclo de la respuesta sexual humana se suelen diferenciar, por tanto, la serie de fases o etapas sucesivas señaladas arriba: Deseo, Excitación, Orgasmo y Resolución. Esta distinción tiene utilidad clínica, ya que muchos procesos patológicos y/o sus tratamientos farmacológicos o quirúrgicos afectan primariamente a alguna de tales fases de modo más o menos selectivo. La relación entre dichos componentes de la RS se podría resumir en el

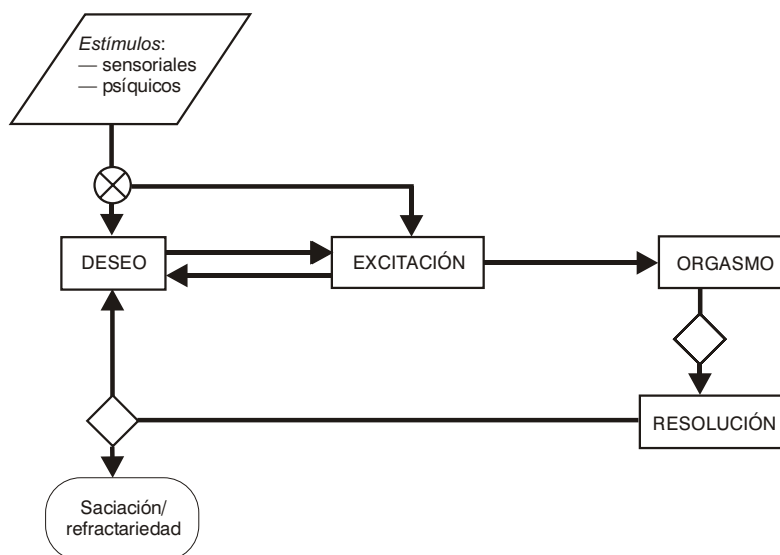


FIG. 4.2. Ciclo de la respuesta sexual humana.

diagrama de flujo de la figura 2. Manteniendo la idea original de los primitivos modelos lineales, según la cual las diversas fases se sucederían en un orden relativamente constante, se quiere destacar también el que algunas se influyen mutuamente. Así, la Excitación suele reforzar el Deseo en una suerte de feedback positivo. También se señala el hecho de que la presentación de una determinada fase no requiere necesariamente de la precedente. Por ejemplo, una estimulación sensorial intensa puede producir Excitación y hasta Orgasmo sin que haya Deseo (o incluso cuando exista aversión); lo que puede tener importantes implicaciones psicológicas y legales. Los rombos de decisión tras el Orgasmo simbolizan el que éste puede seguirse de la fase de Resolución o, como ocurre con mayor frecuencia en las mujeres, del retorno de las de Excitación o Deseo que conduzca a una o varias experiencias orgásmicas adicionales antes de entrar en la fase de Resolución.

La RS conlleva importantes cambios del estado fisiológico de todos los órganos y sistemas del cuerpo, algunos de ellos muy conspicuos y característicos. Se acompaña, además, de sensaciones especiales y variaciones del estado de consciencia que se suelen percibir como muy agradables.

1.1. DESEO

El Deseo, libido o apetito sexual es difícil de definir de un modo universalmente satisfactorio, dada la diversidad de teorías sobre el funcionamiento de la mente. 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 cognitivos.

Se han identificado varios elementos de su sustrato biológico. Parece claramente influenciado por los niveles de hormonas sexuales, particularmente los andrógenos (en hombres y mujeres). Asimismo, se sabe de diversos neurotransmisores centrales que influyen en este estado y que pueden ser interferidos por diversos tratamientos farmacológicos. Sus correlatos neurofisiológicos se discuten más adelante.

En la respuesta fisiológica se distinguen tres fases: excitación, orgasmo y resolución. Sus manifestaciones más evidentes son los cambios fisiológicos que tienen lugar en los genitales, aunque realmente afectan al funcionamiento de todo el organismo. La RS es un buen ejemplo de «respuesta integrada» fisiológica.

1.2. EXCITACIÓN

En la fase de Excitación intervienen componentes de tres tipos: genitales, periféricos no genitales y centrales (Bancroft, 1989). Entre los fenómenos fisiológicos que la caracterizan destaca el aumento considerable de aporte sanguíneo a la pelvis y la región genital, debido a la vasodilatación de los órganos que contienen. En el hombre, su manifestación más conspicua es la erección y rigidez del pene. En la mujer, los cambios característicos son la tumescencia del clítoris y los labios menores, así como el aumento de la lubricación vaginal y vulvar. Este fenómeno se debe fundamentalmente al trasvase a través de las paredes vaginales de plasma sanguíneo procedente del plexo vascular perivaginal dilatado. Las glándulas vulvares contribuyen también a la lubricación de los labios. Se produce también la erección de los pezones y la ingurgitación de las aréolas mamarias. Las imágenes de resonancia magnética de los genitales femeninos obtenidas durante el coito muestran también

un alargamiento de la pared vaginal anterior y elevación del útero durante la excitación sexual (Schultz et al., 1999).

1.3. ORGASMO

La excitación sexual sostenida y creciente lleva eventualmente al Orgasmo, que se manifiesta como una alteración del estado de consciencia acompañada de sensaciones placenteras, de intensidad y duración variables, focalizadas en gran medida en los genitales. Los fenómenos fisiológicos más característicos incluyen la contracción de la musculatura lisa del tracto genital (lo que produce en el hombre la emisión seminal y la sensación de «inevitabilidad eyaculatoria») y las contracciones rítmicas de la musculatura del suelo de la pelvis, que ocasionan la propulsión del líquido seminal a lo largo de la uretra (eyaculación) y el estrechamiento intermitente de las paredes del tercio externo de la vagina y del ano.

Suele acompañarse de expresiones afectivas incluyendo emisiones fónicas muy variadas: gemidos, risa, llanto, gritos, suspiros, jadeo, etc. La alteración del estado de consciencia puede ser muy variable según indican las descripciones de experiencias orgásmicas realizadas por sujetos de ambos sexos, desde un ligero bienestar hasta una intensa experiencia mística, e incluso pérdida de consciencia.

1.4. RESOLUCIÓN-SACIACIÓN

Tras la producción de uno o, como ocurre con frecuencia en la mujer, varios orgasmos se entra en la llamada fase de Resolución, consistente en la vuelta al estado quiescente, es decir a las condiciones funcionales anteriores a la excitación, de los diversos órganos implicados en la RS. Esta fase se suele acompañar de un estado de calma agradable, facilitador de la comunicación afectiva, a veces acompañado de somnolencia. La consecución del orgasmo, único o repetido, lleva eventualmente a un estado de saciación con atenuación del deseo sexual.

Si bien la fisiología de esta fase ha sido escasamente estudiada en humanos, es probable la contribución de algunas de las hormonas secretadas en el orgasmo precedente. Tal sería el caso de la oxitocina y la prolactina, hormonas que muestran picos de secreción

asociados al orgasmo. Los datos proporcionados por la experimentación animal atribuyen a la primera efectos de cohesión social (apego) y de sedación e inhibición de la conducta sexual a la prolactina (Mas et al. 1995b).

1.5. RESPUESTA EXTRAGENITAL

La RS incluye también un importante componente extragenital que afecta a casi todos los órganos y sistemas del cuerpo. Se producen aumentos, a veces considerables, de la presión arterial, frecuencia cardíaca y ventilación pulmonar que alcanzan su máximo en torno al orgasmo y decaen rápidamente tras el mismo. Suele producirse también con intensidad variable una reacción de sudoración, más acusada después del orgasmo. Otras manifestaciones cutáneas frecuentes incluyen el enrojecimiento de la piel (eritema), más frecuente en ciertas áreas (cara, epigastrio, mamas, nalgas) durante la excitación sexual. Se pueden provocar también reacciones de piloerección más o menos localizada en respuesta a la estimulación táctil superficial de algunas áreas de la piel (por ejemplo del cuello). Durante la excitación suele producirse un aumento progresivo de tensión muscular, más acusada en algunos grupos musculares, que se libera en el orgasmo mediante contracciones de tipo clónico.

Se han encontrado también cambios en los niveles plasmáticos de varias hormonas, siendo los más documentados los aumentos de vasopresina durante la excitación y de oxitocina durante el orgasmo y prolactina tras el mismo, así como aumentos más difusos y sostenidos de adrenalina, gonadotrofinas, testosterona asociados a la actividad sexual.

Hay importantes cambios psíquicos, incluyendo alteraciones de la sensibilidad. Así, durante la excitación aumentan los umbrales de la percepción dolorosa. Ya se han comentado las alteraciones características del estado de consciencia de intensidad variable que conlleva la RS y especialmente la experiencia orgásmica. Todo ello indica que la función sexual implica una auténtica respuesta integrada en la que participa el conjunto del organismo (puede encontrarse una descripción más detallada de estos fenómenos en Mas, 1997, 1999a-c, 2000).

2. Hormonas y función sexual

La conducta sexual representa el paradigma de la influencia hormonal sobre el comportamiento y la actividad cerebral subyacente.

2.1. DEPENDENCIA HORMONAL DE LA CONDUCTA SEXUAL ANIMAL

En la mayoría de las especies mamíferas la conducta de apareamiento, sobre todo en las hembras, sólo se manifiesta durante los limitados períodos fértiles de su ciclo reproductor. Dicha sincronización es proporcionada en gran parte por la acción de las hormonas ováricas sobre las estructuras cerebrales que controlan la expresión de la conducta sexual. Las principales hormonas femeninas, estrógenos (llamadas así por su propiedad de inducir la reacción de «estro» o «celo» en las hembras), alcanzan sus niveles plasmáticos máximos en el período preovulatorio, cuando la posibilidad de fecundación es mayor. Esto hace cambiar espectacularmente la conducta de la hembra que, de rechazar habitualmente cualquier aproximación sexual por parte de los machos, muestra ahora hacia ellos una conducta de sollicitación (proceptividad) y posturas reflejas (lordosis) que facilitan los intentos de cópula del macho (receptividad). Este característico patrón de conducta estral desaparece al tiempo que la probabilidad de fecundación, para regresar al estado de «anestro», que suele ocupar la mayor parte del tiempo del ciclo reproductor. Una notable excepción a esta regla casi universal se encuentra en los primates, especialmente los antropoides. Por su especial relevancia para el comportamiento humano se comenta con mayor detalle más adelante.

En el macho, la principal señal hormonal que influye sobre su comportamiento sexual la proporcionan los andrógenos testiculares (esencialmente la testosterona). A estas hormonas se les atribuyen importantes efectos «organizadores» (diferenciación y desarrollo sexual masculino) y «activadores» (estimulación del comportamiento sexual en el adulto) sobre la función sexual. La menor ciclicidad de las secreciones gonadales del macho y la eficacia de sus andrógenos para mantener su función sexual, manifiesta en los relativamente pequeños niveles plasmáticos de estas hormonas que se requieren para la misma, determina el que la

conducta de apareamiento del macho suele ser más estable que la de la hembra.

La conducta sexual de casi todos los mamíferos es suprimida por la extirpación de las gonadas, tanto en el macho como en la hembra, aunque hay diferencias entre los sexos en cuanto al transcurso de este fenómeno. En las hembras suele desaparecer inmediatamente tras la castración, lo que se corresponde con la ya comentada rapidez con que se presenta y desvanece la fase estral del ciclo. Es restaurada, también tras un corto intervalo (de horas a pocos días), por el tratamiento con hormonas ováricas, esencialmente los estrógenos; en algunas especies coadyuvados por las progestinas. En los machos, los cambios en la expresión de la conducta asociados a la supresión de las hormonas androgénicas tardan más en manifestarse. Tras la castración hay una desaparición paulatina de las distintas pautas de la conducta sexual, cuya persistencia varía con las especies y los niveles previos de motivación y experiencia sexual del individuo. Asimismo, el tratamiento con andrógenos a los machos castrados requiere de períodos relativamente largos (semanas) para la restauración completa del patrón normal de conducta sexual.

Sin embargo, tal patrón general de expresión de la motivación sexual, permanente en los machos y restringida en las hembras a cortos períodos periovulatorios de su ciclo ovárico, se desdibuja en gran medida en los primates. En buena parte de las especies de este orden, las hembras tienen unos intervalos más amplios de receptividad y proceptividad sexuales, extendiéndose éstas fuera de los límites del período fértil, aun cuando su actividad sexual sea máxima durante el mismo. Este fenómeno es especialmente pronunciado en los antropoides más próximos a nuestra especie, como el chimpancé (*Pan troglodytes*) y, especialmente, el bonobo (*Pan paniscus*). Las hembras de esta especie copulan frecuentemente durante casi todos los días de su ciclo menstrual. En estos antropoides se encuentra también la mayor variabilidad de expresiones sexuales. Frente al patrón «clásico» de un macho adulto montando a una hembra ovulante que responde con una estereotipada postura receptiva (lordosis o equivalente), en estos animales, además de cópulas heterosexuales entre adultos, se pueden observar en ambos sexos la estimulación de los genitales propios y de otros individuos, las cópulas homosexuales, los juegos sexuales con crías jóvenes; en general, prácticamente todas las combinaciones posibles, así como una cierta variedad de posturas coitales, incluida la cópula cara a cara. Todo ello in-

dica que en estas especies, tan próximas a la humana, la sexualidad ha adquirido un valor adaptativo distinto del reproductor.

Los mecanismos biológicos que permiten esta nueva adaptación de la expresión sexual son diversos. Sin duda, el mayor grado de desarrollo cerebral es un factor importante. Hay también una conexión hormonal, la función androgénica de las glándulas suprarrenales. La corteza suprarrenal de los primates (incluidos los humanos) tiene la característica peculiar, extremadamente infrecuente en las demás especies, de secretar importantes cantidades de andrógenos, además de los mineralocorticoides y glucocorticoides comunes a casi todos los mamíferos. Dicha función androgénica adrenal es similar en ambos sexos. En el macho adulto es probablemente redundante, ya que el testículo representa una fuente mucho más importante de estas hormonas (una excepción puede ser el período prepuberal, donde la activación de los andrógenos adrenales o «adrenarquia» precede a la maduración y desarrollo gonadales). En la hembra, sin embargo, los andrógenos adrenales parecen contribuir de modo importante al mantenimiento de unos niveles relativamente estables de motivación sexual durante todo el ciclo ovárico, o buena parte del mismo. Experimentos con monas ovariectomizadas muestran la persistencia de la proceptividad hasta que se suprimen también la secreción androgénica adrenal, lo que coincide con observaciones clínicas en humanos.

En los primates parece además que las áreas cerebrales sensibles a los andrógenos son similares en la hembra y el macho. Así, estudios de administración intracerebral de hormonas en el mono rhesus (*Macaca mulatta*) muestran que las inyecciones de andrógenos en el hipotálamo anterior-área preóptica medial (región cerebral cuya importante implicación en la expresión de la conducta sexual se discute más adelante) devuelve la proceptividad sexual a las hembras castradas y con las adrenales suprimidas. La supresión adrenal (realizada mediante tratamiento con glucocorticoides) es necesaria para que se manifieste completamente el déficit androgénico (véase Johnson y Everitt, 1995, para un compendio de estos datos experimentales). Este fenómeno es análogo al bien conocido efecto de los andrógenos de restauración de la motivación sexual a los machos castrados de todas las especies.

2.2. INFLUENCIAS HORMONALES EN LA SEXUALIDAD HUMANA

En la actualidad se reconoce la influencia de varias hormonas, especialmente las gonadales, sobre la función sexual humana. Los estrógenos son necesarios para el mantenimiento del estado trófico del tracto genital femenino y el buen funcionamiento de su respuesta a la estimulación sexual. Esto se hace especialmente patente en la vagina, y su déficit por castración quirúrgica o menopausia natural puede llevar con relativa frecuencia a dificultades en el coito. Su intervención directa en la génesis del deseo sexual parece, sin embargo, más dudosa.

Las hormonas más claramente asociadas con los componentes apetitivo-motivacionales de la función sexual, en ambos sexos, son los andrógenos (Sherwin, 1988). En lo que respecta al varón, esta noción es congruente con lo observado en los machos de multitud de especies animales. En la mujer, las posibilidades de analogía con otras especies y, por consiguiente, de utilización de modelos experimentales para su mejor conocimiento, son mucho más restringidas.

El fenómeno casi universal del estro está ausente en la hembra humana y otras antropoides. La motivación sexual de las primates superiores ya no sigue estrictamente las fluctuaciones del ciclo estral sino que puede manifestarse de modo continuo. Esto parece haberse logrado en la mona rhesus, y presumiblemente en otras especies aún más próximas a la humana, permitiendo que aquellas partes del cerebro que controlan el apetito sexual respondan en mayor medida a los andrógenos que a los estrógenos o las progestinas. A su vez, tal acción de los andrógenos, promotora de la motivación sexual femenina parece bastante privativa de los primates, careciendo virtualmente de parangón en otros animales. Dado que los andrógenos circulantes proceden tanto del ovario como de la adrenal y éstos son secretados de modo constante a lo largo de todo el ciclo menstrual, la hembra primate variaría durante el mismo en aspectos como su atractivo (dependiente de los estrógenos y su fluctuación cíclica), pero tendría continuamente facilitada su proceptividad. Tan alto grado de emancipación del cerebro de la hembra de la influencia de las hormonas ováricas clásicas (estrógenos y progestinas) sobre la motivación sexual refleja probablemente un desarrollo evolutivo importante. La interpretación más plausible es la de que una fuente de hormonas estimulantes del interés sexual que sea independiente de las fluctuaciones propias del ciclo ovárico facilita la expresión de esta con-

ducta durante amplios períodos del mismo. Con ello y, a diferencia de la mayoría de los animales, que sólo copulan en estrecha asociación cronológica con la ovulación, la conducta sexual de los primates adquiere nuevos valores adaptativos, como es el de promover la cohesión grupal, muy necesaria en estas especies tan sociales, especialmente en lo que concierne al cuidado de las crías.

El papel de los factores endocrinos en el componente apetitivo de la sexualidad se podría resumir señalando que no parece que las hormonas, en este caso los andrógenos, estimulen directamente la motivación sexual sino que influyan, junto con factores afectivos y cognitivos, en la excitabilidad del cerebro, aumentando la probabilidad de respuesta a estímulos sexualmente relevantes para el individuo, que pueden ser muy diferentes, dependiendo de la orientación, preferencias y experiencia previa de cada uno. Contribuirían a disminuir un hipotético umbral de estimulación erótica, que puede ser también influido por otros factores. Así, aunque los niveles de estas hormonas sean muy bajos, se puede lograr la inducción de una respuesta sexual mediante estímulos erógenos de mayor intensidad (como visuales, táctiles, o afectivos). Otro componente que también parecen facilitar es la gratificación sexual percibida por el sujeto y de ahí su efecto reforzante sobre las conductas que llevan a ella.

3. Mecanismos neurofisiológicos de la respuesta sexual

Para facilitar la discusión de los fenómenos neurofisiológicos implicados en la producción de un comportamiento tan complejo como el 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 RS, 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. La comunicación intercelular entre las diversas estructuras neurales implicadas se hace mediante una amplia gama de neurotransmisores, habiéndose identificado varios de ellos relevantes para la expresión de la conducta sexual ([tabla 4.1](#)).

TABLA 4.1. Neuromediadores implicados en el control de la función sexual

Transmisores	Lugares de acción		
	Inervación genital	Médula espinal	Cerebro
Monoaminas:			
Dopamina	—	—	**
Serotonina	—	**	**
Noradrenalina	**	*?	**
	(nn. simpáticos)		
Acetilcolina	*	*	*?
	(nn. parasimpáticos)	(nn. preganglionares)	
Aminoácidos:			
GABA	—	—	*
Péptidos:			
Opioides	—	*	**
VIP	**	—	—
Neuropéptido Y	*?	—	*
Sustancia P	*?	*?	—
Oxitocina	—	*	*
Gn-RH	—	—	*
TRH	*?	*?	*?
Gases:			
Óxido nítrico	**	*	**

Participación en la función sexual en humanos y/o animales de experimentación: ** claramente establecida; * probable; *? posible; — no hay.

3.1. INERVACIÓN PERIFÉRICA

La mayoría de los cambios, genitales y extragenitales, que conlleva la RS están regulados fundamentalmente por la actividad de los nervios que, desde el Sistema Nervioso Central (SNC), se proyectan sobre los distintos órganos implicados. En su mayor parte, dicha inervación la proporcionan las divisiones parasimpática y simpática del Sistema Nervioso Autónomo (SNA), que regulan la actividad de los distintos órganos del cuerpo, incluidos los genitales. Con respecto a la RS, a la actividad parasimpática se le atribuyen los fenómenos de vasodilatación (y erección) característicos de la fase de excitación, aunque es probable que una subdivisión de la inervación simpática también transmita señales erectogénicas. La actividad simpática predomina claramente en los fenómenos or-

gásmicos, tanto genitales como extragenitales. La innervación somática es también importante, al transmitir tanto señales sensoriales, fundamentales en todo el proceso de excitación y respuesta sexual, como órdenes motoras a grupos musculares específicos, como los del suelo de la pelvis, cuya importancia en la respuesta orgásmica se ha señalado arriba. La lesión de estos nervios por tumores, o por su tratamiento quirúrgico, de la próstata o el recto es causa frecuente de disfunciones sexuales, especialmente de trastornos de la erección.

Los mecanismos neuroquímicos por los que el SNA regula las respuestas eréctiles de los genitales han sido relativamente bien caracterizados en el cuerpo cavernoso del pene. Se reconoce el papel fundamental del óxido nítrico (NO), liberado por los nervios pélvicos y el endotelio de los tejidos eréctiles, como mediador de la relajación del músculo liso de los cuerpos cavernosos, lo que permite la entrada de sangre y su erección. Otros mensajeros vasomotores locales, como las prostaglandinas E (PGE), también facilitan la respuesta eréctil. En la actualidad se dispone de fármacos que imitan y potencian las acciones de estos mediadores fisiológicos. Algunos se han mostrado muy eficaces en el tratamiento de la disfunción eréctil masculina. Tal es el caso de la aplicación intracavernosa de PGE1 (Alprostadil) y la administración oral del sildenafil (Viagra), que potencia la acción del NO en el tejido cavernoso al inhibir la degradación de su «segundo mensajero» intracelular, el cGMP.

La contracción orgásmica de la musculatura lisa genital es producida por la actividad del Sistema Simpático, con su neurotransmisor más importante, la noradrenalina, actuando a través de mecanismos α -adrenérgicos. También determina la detumescencia que caracteriza a la siguiente fase (Resolución).

3.2. INTEGRACIÓN ESPINAL

La RS conlleva la activación de un conjunto de arcos reflejos cuyos elementos esenciales se localizan en su mayor parte en la médula espinal. El análisis de las alteraciones de la función sexual observadas en pacientes con lesiones traumáticas a distintos niveles de la médula, así como los estudios experimentales sobre animales, han proporcionado una información valiosa sobre los mecanismos espinales de control de diversos componentes de la RS.

Los circuitos básicos para los reflejos de erección parecen localizarse en los segmentos inferiores (lumbosacros) de la médula. Los pacientes parapléjicos con secciones espinales completas por encima de los mismos conservan la respuesta de erección, y las mujeres la de vasocongestión vaginal, a la estimulación mecánica de los genitales. Ello concuerda con el hecho de que la estimulación eléctrica de las raíces anteriores sacras S2-S4, por donde surgen de la médula, entre otras, las fibras del parasimpático sacro, produzca erección peneana y vasocongestión vaginal. En los casos en que las lesiones hayan destruido los niveles sacros de la médula se pierden dichas respuestas a la estimulación mecánica. Sin embargo, si no llegan a afectar a los niveles torácicos inferiores y lumbares superiores (T10-L2) de donde surgen las fibras que van a los ganglios simpáticos, se pueden producir respuestas eréctiles a la «estimulación psíquica» (la proporcionada por estímulos visuales, auditivos, pensamientos, etc.). Se acepta así la existencia de dos circuitos, situados a distintos niveles de la médula espinal, que se complementan para la producción de respuestas eréctiles y de vasocongestión vaginal. Hay un circuito sacro que incluye las eferencias parasimpáticas determinantes de las respuestas reflejas. El otro circuito, toracolumbar, cuyas señales salen por el plexo hipogástrico (simpático), se activaría por los estímulos psíquicos. En el sujeto normal, ambos funcionan de modo coordinado, reforzándose mutuamente los estímulos mecánicos (reflejos locales) y los psíquicos (cerebrales) para producir respuestas sostenidas de erección y vasocongestión pélvica. De hecho, en los dos tipos de lesiones mencionadas arriba, las erecciones que se obtienen aisladamente por uno u otro de estos mecanismos son generalmente insuficientes para un coito efectivo.

La respuesta eyaculatoria es aún más sensible que la erección a las lesiones espinales. Es bastante menor la proporción de parapléjicos capaces de eyacular que la de los que conservan algún tipo de respuesta eréctil. Ello puede ser debido a varios factores. Uno es la falta de sensibilidad procedente de los genitales, a consecuencia de la interrupción de las vías sensoriales ascendentes. También parece que la eyaculación implique «arcos reflejos largos», facilitadores de esta respuesta, en los que intervienen centros cerebrales. En sujetos con lesiones por debajo de L2 se pueden producir emisiones seminales, ya que el centro toracolumbar simpático de la misma conserva su conexión con el cerebro, pero carecen de fuerza al faltar la acción propulsora de los músculos del suelo de la pelvis cuyas

neuronas motoras situadas más abajo (S2-S4) estarían desconectadas. Se puede conseguir la expulsión de semen en estos pacientes, por ejemplo a efectos de fertilización artificial de su pareja, mediante procedimientos de estimulación eléctrica de estos reflejos con electrodos colocados en el ano. En el caso de las mujeres con lesiones espinales, aun cuando se dispone de menos datos, parece que tienen menos problemas en obtener respuestas orgásmicas, sobre todo recurriendo a la estimulación de otras zonas erógenas (mamas, labios, etc.) situadas por encima de la lesión.

3.3. MECANISMOS CEREBRALES

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 motivacional 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 (fig. 4.3). Para ello utilizan una variedad de neurotransmisores, algunos bien caracterizados (tabla 4.1), cuya alteración o manipulación farmacológica puede tener importantes consecuencias sobre la conducta sexual. En consecuencia, la función sexual puede ser seriamente afectada por diversas lesiones y trastornos cerebrales, así como fármacos que actúan sobre el SNC.

Sin embargo, es todavía muy escasa la información directa sobre los procesos fisiológicos que se producen en el cerebro humano en el curso de la emoción y el comportamiento sexuales. Las dificultades para su investigación, en sus diversos aspectos técnicos, éticos y estadísticos, entre otros, son formidables. Por ello debemos basarnos en gran medida en la información proporcionada por la investigación en animales de laboratorio. La extrapolación al comportamiento sexual humano de los hallazgos experimentales en otras especies animales presenta importantes dificultades que obligan a la cautela. Sin embargo, el hecho es que una serie de mecanismos neurobiológicos de la conducta sexual parecen estar relativamente bien conservados a lo largo de la escala evolutiva, debiendo tenerse en cuenta al considerar los componentes cerebrales del comportamiento sexual humano.

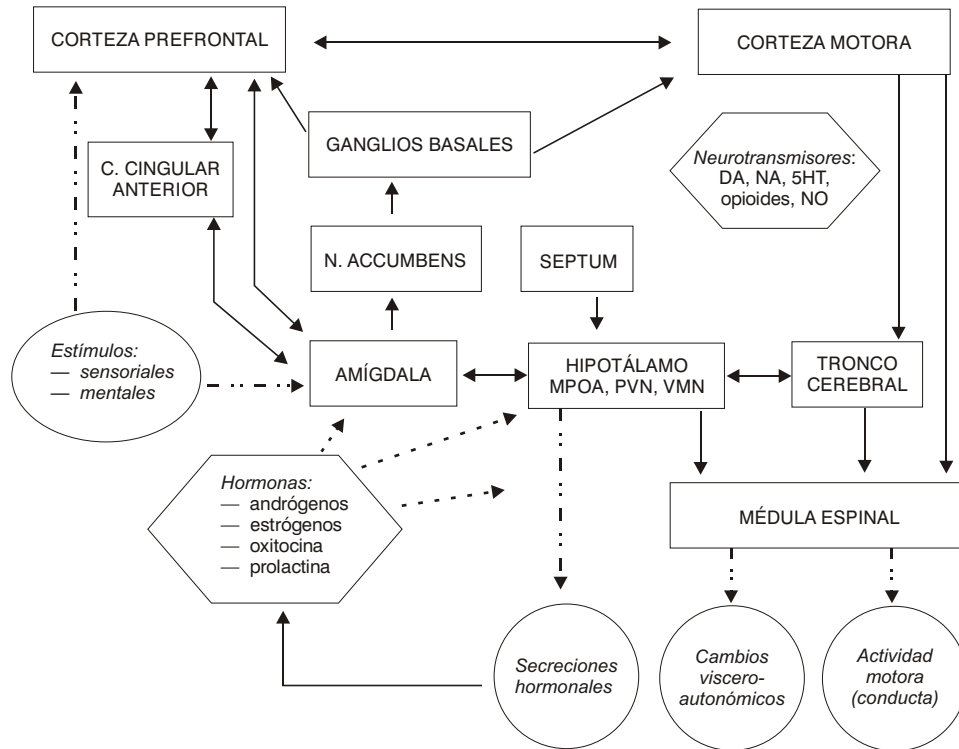


FIG. 4.3. Esquema de los principales flujos de información en el cerebro subyacentes a la conducta sexual.

3.3.1. Datos básicos de la experimentación animal

La identificación de los mecanismos cerebrales (núcleos y conexiones neurales, neurotransmisores y sus lugares y modos de acción) implicados en la regulación de una conducta tan compleja como la sexual presenta considerables dificultades, sólo resueltas parcialmente hasta el momento.

Comparando los efectos de lesiones quirúrgicas o neurotóxicas de varias áreas cerebrales con los de su estimulación eléctrica o química, los registros de actividad eléctrica, metabólica o de expresión génica de las mismas, los efectos de inyecciones localizadas de fármacos agonistas o antagonistas de determinados neurotransmisores, así como las mediciones de los cambios en los neuromedadores endógenos que se asocian a diversos aspectos de la conducta sexual, se ha ido obteniendo una cierta idea de los mecanismos cerebrales que la regulan. Se ofrece un resumen de los aspectos mejor

documentados. Esta información dista de ser exhaustiva, pues son muchas las áreas cerebrales y los neurotransmisores a los que se ha encontrado relación con los fenómenos sexuales.

Para el abordaje experimental de los neuromediadores que regulan las diversas conductas se ha recurrido tradicionalmente al empleo de fármacos que supuestamente actúan a través de sistemas específicos de neurotransmisión. Numerosos estudios han documentado los efectos de diversos agentes neuroactivos sobre la función sexual. Entre los de mayor impacto sobre la conducta del macho, por ejemplo, destacan sobre todo los efectos generalmente estimulantes de la conducta sexual de los compuestos que imitan o potencian la transmisión dopaminérgica, mientras que el bloqueo farmacológico de ésta inhibe dicha conducta. Asimismo, la estimulación de la transmisión noradrenérgica (mediante antagonistas α_2) suele inducir actividad sexual, mientras que los agonistas opiáceos tienen intensos efectos inhibitorios. La manipulación farmacológica de la transmisión serotoninérgica suele tener los efectos opuestos, aunque matizados por el tipo de receptor sobre el que se actúe. Sin embargo, la administración sistémica de fármacos, aun cuando tiene gran interés por su posible repercusión clínica, no permite discernir los mecanismos cerebrales en los que intervienen (incluidos sus lugares de acción). Para ello se recurre a la administración localizada de pequeñas cantidades de dichos agentes en distintas zonas del cerebro, comparándose sus efectos. Recientemente, los neurotransmisores implicados en la función sexual se han comenzado a estudiar de un modo más fisiológico, mediante el análisis de los cambios que ocurren en sus niveles endógenos cuando se están produciendo los diversos fenómenos de dicha conducta. Ello se ha logrado con la utilización de técnicas de medida en vivo, como son la voltametría y la microdiálisis cerebral (Mas et al., 1995).

3.3.1.1. Área preóptica medial-hipotálamo anterior

Uno de los efectos sobre la conducta copulatoria masculina observado de modo más constante es el de su supresión tras la lesión del área preóptica medial y la vecina área hipotálamica anterior. Las lesiones bilaterales amplias de esta zona llevan al cese de la actividad de cópula del macho en las numerosas especies animales en que se ha estudiado (para referencias, véase Mas, 1995a). Ello no se debe a un hipogonadismo secundario, puesto que la función tes-

ticular se suele mantener en niveles normales. También persisten los reflejos eréctiles y de emisión seminal cuando se examinan en contextos no sexuales. Se ha encontrado una estrecha asociación entre la actividad eléctrica y metabólica de neuronas situadas en el área preóptica y la expresión de la conducta sexual masculina en monos y ratas. Por otra parte, la región preóptica tiene una elevada densidad de receptores a las hormonas esteroideas producidas por las gonadas, incluidos los andrógenos, y es el lugar donde la inyección de cantidades minúsculas de testosterona es capaz de restaurar con mayor eficacia la actividad copulatoria de los machos castrados.

En la hembra, las lesiones del área preóptica no suprimen el clásico reflejo de lordosis de los roedores (más bien suelen facilitarlo). Sin embargo, en las monas, las lesiones preópticas inhiben la conducta de sollicitación (proceptividad). Además, como ya se comentó arriba, en la hembra rhesus deprivada totalmente de andrógenos (castrada y con las secreciones corticoadrenales suprimidas), su muy reducida conducta proceptiva es restaurada por la implantación de pequeñas cantidades de testosterona en el área preóptica e hipotalámica anterior, aunque no así la receptividad (Johnson y Everitt, 1995). Tales datos sobre monas apoyan la idea, apuntada arriba, de que la regulación de la conducta sexual del primate hembra (incluida con toda probabilidad nuestra especie) se asemeja más a la de los machos, al menos en sus aspectos apetitivos.

El área preóptica tiene una rica innervación que le aporta varios de los neurotransmisores a los que se atribuyen efectos más destacados sobre la función sexual. Así, recibe fibras opiatérgicas, fundamentalmente de β -endorfina, procedentes del núcleo arqueado. La inyección de este péptido en el área preóptica tiene efectos inhibitorios sobre el comportamiento sexual. También se encuentran en esta región fibras aferentes monoaminérgicas procedentes del tronco cerebral, cuya lesión tiene importantes efectos sexuales. Mediante diversos procedimientos neuroquímicos se ha encontrado que el inicio de la cópula se asocia con un aumento de la actividad dopaminérgica en el área preóptica, mientras que su culminación eyaculatoria se acompaña de una notable activación serotoninérgica que, probablemente, contribuya a producir el fenómeno de saciación sexual (Mas, 1995b). Ello explicaría en buena parte los efectos encontrados a las inyecciones locales en esta estructura de sustancias estimulantes de los receptores dopaminérgicos y serotoninérgicos que inducen e inhiben, respectivamente, la conducta sexual

masculina. Otros neuromediadores a los que se han encontrado efectos marcados sobre la conducta sexual a su manipulación farmacológica localizada en el área preóptica son el GABA, la acetilcolina y el NO.

El concepto tradicional del área preóptica como estructura esencial para la génesis de la motivación sexual ha sido matizado en tiempos recientes. El análisis más detallado, en diversas especies, del comportamiento masculino tras la lesión de aquella mostró que, si bien la actividad copulatoria efectiva desaparece, persisten otros signos de interés sexual. Así, tras recibir estas lesiones, los monos siguen masturbándose aunque no copulen y, al igual que las ratas, realizan respuestas instrumentales para ganar acceso a las hembras receptivas, mostrando también preferencia por estar en la proximidad de éstas; las cabras siguen realizando conductas de cortejo, etc. Sin embargo, cuando logran el contacto con las hembras, los machos así lesionados no llegan a realizar pautas de intromisión del pene y eyaculación. Tales datos indican que lo que suprime las lesiones del área preóptica es la capacidad de realizar la cópula, más que la motivación sexual. Se sugiere así para esta estructura una función de traducción del estado de apetito sexual, originado en otro lugar, en la respuesta fisiológica, integrando las pautas copulatorias, motoras y neurovegetativas específicas.

3.3.1.2. Amígdala y circuitos límbicos

El empleo de técnicas de condicionamiento instrumental ha proporcionado una valiosa información sobre los mecanismos neurales de la motivación sexual. Así, se ha estudiado la denominada preferencia condicionada de lugar, que mide la tendencia del animal a regresar repetidamente al sitio donde ha copulado con anterioridad, y el refuerzo condicionado de segundo orden, basado en el aprendizaje de presionar una palanca un número determinado de veces para ganar acceso a una hembra receptiva. Mientras que estas respuestas, como se ha mencionado arriba, no se afectan de modo importante por las lesiones preópticas, sí se ven influidas considerablemente por lesiones de otras zonas del SNC como el llamado sistema límbico y, en especial, de uno de sus componentes, la amígdala. Estudios en la rata macho han mostrado que los animales a los que se les ha destruido la porción basolateral de esta estructura en ambos lados, aunque copulan normalmente cuando se

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 innervado 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 innervación 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 innervación dopaminérgica del núcleo accumbens en ratas macho disminuyen su actividad copulatoria con hembras hipoactivas (aunque no si 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, sollicitación, 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 hommoerótica 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 (fMRI), 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 conteo 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-Tc⁹⁹ 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 SPECT¹ en sujetos expuestos a diversas formas de estimulación sexual (voluntarios sanos, varones, heterosexuales, diestros)

Situación experimental	Región cerebral	Hemisferio	A. Brodmann
Orgasmo¹			
Aumento:	— córtex prefrontal	D	10
	— tejidos extracraneales (piel, músculo)		
Disminución:	— resto de córtex	(menor en I)	
Excitación² (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 placentera³ (e. auditivo)			
Aumento:	— g. cingular anterior	D	32
	— polo temporal	I	38
	— globo pálido ventral	D	
		I	
	— claustró	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 O¹⁵-H₂O,

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} -CO₂ 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 claustró 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 prefrontal 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 arriba sobre la actividad metabólica de la corteza cerebral en relación con la experiencia sexual humana, puesto que el papel en la misma de la corteza cerebral sólo puede ser evaluado en todas sus implicaciones estudiando nuestra especie. Sin embargo, los resultados obtenidos hasta ahora mediante técnicas de neuroimagen funcional, por impresionantes que resulten, presentan todavía importantes limitaciones inherentes a la metodología empleada. Las técnicas utilizadas hasta ahora (PET y SPECT) son adecuadas para el mapeo metabólico de la superficie del cerebro pero pierden efectividad al intentar detectar cambios en estructuras profundas. Además, su resolución espacial es todavía limitada (varios milímetros). Como se ha visto en otros apartados, las regiones cerebrales más relevantes para la expresión de la RS se encuentran a bastante profundidad, en el centro y base del encéfalo, y son bastante pequeñas. Es probable, por tanto, que en dichos estudios hayan escapado a la detección cambios importantes en la actividad metabólica de muchas áreas cerebrales. Es de esperar que la aplicación de nuevas técnicas de neuroimagen funcional con mayor poder resolutivo, como la fMR, permita obtener en el futuro próximo una visualización más fina de los cambios de actividad concomitantes a la Respuesta Sexual Humana.

5. Referencias bibliográficas

- Bancroft, J. (1989): *Human sexuality and its problems*, 2.^a ed., Edimburgo, Churchill Livingstone.
- Cohen, A. S.; Rosen, R. C. y Goldstein, L. (1985): «EEG hemispheric asymmetry during sexual arousal: psychophysiological patterns in responsive, unresponsive and dysfunctional men», *J. Abnormal Psychol.*, 94: 580-590.
- Coslett, H. B. y Heilman, K. M. (1986): «Male sexual function. Impairment after right hemisphere stroke», *Arch. Neurol.*, 43: 1036-1039.
- Daniele, A.; Azzoni, A.; Bizzi, A. et al. (1997): «Sexual behavior and hemispheric laterality of the focus in patients with temporal lobe epilepsy», *Biol. Psychiatry*, 42: 617-624.
- Davey Smith, G.; Frankel, S. y Yarnell, J. (1997): «Sex and death: are they related? Findings from the Caerphilly cohort study», *Br. Med. J.*, 315: 1641-1644.
- Dieckmann, G.; Schneider-Jonietz, B. y Schneider, H. (1988): «Psychiatric and neuropsychological findings after stereotaxic hypothalamo-

- tomy in cases of extreme sexual aggressivity», *Acta Neurochir. Suppl.* (Wien), 44: 163-166.
- Everitt, B. J. (1990): «Sexual motivation: a neural and behavioural analysis of the mechanisms underlying appetitive and copulatory responses of male rats», *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 14, 217-232.
- Fisher, H. E. (1994): *Anatomía del Amor*, Barcelona, Anagrama.
- (1999): «Lust, attraction, and attachment: brain systems for love», en I. Goldstein (ed.), *New Perspectives in the Management of Female Sexual Dysfunction. Proceedings*, Boston, Boston University School of Medicine, pp. 22-23.
- Fuster, J. M. (1989): *The Prefrontal Cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe*, 2.^a ed., Nueva York, Raven Press.
- Johnson, M. H. y Everitt, B. J. (1995): *Essential Reproduction*, 4.^a ed., Oxford, Blackwell Science, pp. 130-142.
- Freeman, W. (1973): «Sexual behavior and fertility after frontal lobectomy», *Biol. Psychiat.*, 6: 97-104.
- Gorman, D. G. y Cummings, J. L. (1992): «Hypersexuality following septal injury», *Arch. Neurol.*, 49: 308-310.
- Graziottin, A. (1998): «The biological basis of female sexuality», *Int. Clin. Psychopharmacol.*, 13 (supl. 6): S15-S22.
- Heath, R. G. (1972): «Pleasure and brain activity in man», *J. Nervous Mental Dis.*, 154: 3-18.
- Kaplan, H. S. (1979): *Disorders of sexual desire*, Nueva York, Simon and Schuster.
- Klüver, H. y Bucy, P. C. (1939): «Preliminary analysis of the temporal lobe in monkeys», *Arch. Neurol. Psychiatr.*, 42: 979-1000.
- Levin, R. J. (1994): «Human male sexuality: appetite and arousal, desire and drive», en C. Legg y D. Boot (eds.), *Human Appetite: Neural and Behavioural Bases*, Oxford University Press, pp. 127-164.
- Lilly, R.; Cummings, J. L.; Benson, D. F. y Frankel, M. (1983): «The human Klüver-Bucy syndrome», *Neurology*, 33: 1141-1145.
- Lundberg, P. O. (1992): «Sexual dysfunction in patients with neurological disorders», *Annu. Rev. Sex Res.*, 3: 121-150.
- MacLean, P. D. y Ploog, D. W. (1962): «Cerebral representation of penile erection», *J. Neurophysiol.*, 25: 29-55.
- Mas, M. (1995a): «Neurobiological correlates of male sexual behavior», *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 19: 261-277.
- (1995b): «The neurochemistry of sexual satiety», en J. Bancroft (ed.), *The Pharmacology of Sexual Function and Dysfunction*, Amsterdam, Elsevier, pp. 115-126.
- (1997): «Bases neuroendocrinas de la sexualidad humana», en J. Botella-Llusía y A. Fernández de Molina (eds.), *La evolución de la sexualidad y los estados intersexuales*, Madrid, Díaz de Santos, pp. 177-200.
- (1999a): «Sexualidad y hormonas», en S. Palacios (ed.), *Cerebro y mujer*, Madrid, Health & Research Consulting, pp. 83-90.

- (1999b): «La experiencia emocional de la sexualidad: una perspectiva psicofisiológica», *Arbor*, 152 (640): 451-471.
- (1999c): «Fisiología sexual», en J. A. F. Tresguerres et al. (eds.), *Fisiología humana*, 2.^a ed., Madrid, McGraw Hill-Interamericana, pp. 1148-1158.
- (2000): «Neurofisiología de la respuesta sexual humana», en J. Bobes, S. Dexeus y J. Gibert (eds.): *Psicofármacos y función sexual*, Madrid, Díaz de Santos, pp. 1-15.
- Mas, M.; Fumero, B. y González-Mora, J. L. (1995): «Voltammetric and microdialysis monitoring of brain monoamine neurotransmitter release during sociosexual interactions», *Behav. Brain Res.*, 71: 69-79.
- Masters, M. W. y Johnson, V. E. (1966): *Human sexual response*, Boston, Little, Brown & Co.
- Miller, B.; Cummings, J. L. y McIntyre et al. (1986): «Hypersexuality or altered sexual preference following brain injury», *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 49: 867-893.
- Meyers, R. (1962): «Three cases of myoclonus alleviated by bilateral anastomy, with a note on postoperative libido and impotence», *J. Neurosurgery*, 19: 71-81.
- Rauch, S. L.; Shin, L. M. y Dougherty, D. D. et al. (1999): «Neural activation during sexual and competitive arousal in healthy men», *Psychiat. Res. Neuroimaging*, 91: 1-10.
- Schultz, W. W.; Van Andel, P.; Sabelis, I. y Mooyart, E. (1999): «Magnetic resonance imaging of male and female genitals during coitus and female sexual arousal», *Br. Med. J.*, 319: 1596-1600.
- Sherwin, B. B. (1988): A comparative analysis of the role of androgen in human male and female sexual behavior: behavioral specificity, critical thresholds, and sensitivity», *Psychobiology*, 16: 416-425.
- Stoléru, S.; Grégoire, M.-C. y Gérard, D. et al. (1999): «Neuroanatomical correlates of visually evoked sexual arousal in human males», *Arch. Sexual Behav.*, 28: 1-21.
- Tiihonen, J.; Kuikka, J. y Kupila, J. et al. (1994): «Increase in blood flow of right prefrontal cortex in man during orgasm», *Neurosci. Lett.*, 170: 241-243.
- Uitti, R. J.; Tanner, C. M. y Rajput, A. H. et al. (1989): «Hypersexuality with antiparkinsonian therapy», *Clin. Neuropharmacol.*, 12: 375-383.
- Wermuth, L. y Stenager, E. (1995): «Sexual problems in young patients with Parkinson's disease», *Acta Neurol. Scand.*, 91: 453-455.

CAPÍTULO 5

LOS SIGNIFICADOS DEL JUEGO: UNA PERSPECTIVA EVOLUTIVA

por J. LINAZA

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 interacción, etc.

En otros casos, las diferencias aparecen por la presencia de elementos que son característicos 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 suprimir 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, aunque 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 evolución 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 automotivados 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 avance en la descripción y comprensión del comportamiento en medios naturales, como los realizados por Jane VanGodall o Diana Fosey, han seguido en paralelo interesantísimos experimentos en laboratorios y en contextos de crianza muy alejados de los característicos de estas especies. En muchos casos son contextos e interacciones de crianza muy semejantes a los que caracterizan el desarrollo de los seres humanos y, por ello, se habla de un proceso de «humanización».

M. Tomasello, director del recién creado Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva, afirma que la clave de la adaptación humana es esta capacidad que nos permite entender a otros individuos como agentes intencionales, en el mismo sentido en el que nos percibimos a nosotros mismos como tales.

Los logros que como especie hemos conseguido en el conocimiento y dominio del mundo externo constituyen el punto de referencia para entender la inteligencia humana como esa capacidad para actuar eficazmente sobre él. Una representación progresivamente más compleja de esa realidad externa y de nuestras propias acciones al interactuar con ella serían los logros en el desarrollo intelectual que describe una teoría como la piagetiana. Muchas de las versiones cognitivas o de procesamiento de la información elaboradas en las últimas décadas comparten esta visión instrumental, medios para lograr fines, que permite valorar su eficacia y ventaja adaptativa. En esta perspectiva, comenzando ya con las primeras teorías sobre el juego, como la de Groos (1905), la manipulación lúdica de objetos se puede convertir en una experiencia adicional que, aunque no proporcione ventaja inmediata al organismo inmaduro, la ejercita, puede suponerla a largo plazo para el individuo adulto. Con esta lógica se plantearon investigaciones diversas a principios de los setenta tratando de evaluar los efectos del juego en el desarrollo. Una de las primeras dificultades consistió en diferenciar lo que era juego de las conductas de exploración. El trabajo de Susana Millar resume buena parte de aquellos esfuerzos. Bruner, Sylva y Jolly (1975) reunieron también una impresionante colección de investigaciones sobre el tema. En una de ellas, realizada por Sylva y Bruner, se utilizó una situación parecida a la que originalmente permitió a Köhler describir el aprendizaje súbito, o insight, en los chimpancés. Sylva y Bruner comprobaron que la exploración lúdica de los diferentes objetos con los que poder construir una caña más larga permitía a niños preescolares obtener más éxito en una tarea de pescar objetos fuera del alcance de sus manos que a aquellos otros compañeros que te-

nían la oportunidad de observar un modelo o de manipular sin juego esos mismos elementos.

En esta posible ventaja adaptativa del juego con objetos, que sin duda es muy frecuente en los primates, aparece también en otras especies como los carnívoros. Sin embargo, comparado con el juego social al que nos referiremos a continuación, el juego con objetos es poco frecuente en muchas especies de mamíferos (Fagen, 1981; Smith, 1984). Esto no implica que, aunque escasa, la exploración lúdica del entorno físico no pueda tener consecuencias importantes para los individuos adultos. Inspirados en las investigaciones que trataban de evaluar la importancia de la experiencia temprana en el desarrollo, diseñamos un espacio muy amplio en el Departamento de Psicología de Oxford, en el que criamos ratas de laboratorio (hooded) en condiciones muy diferentes a las habituales. Además de mantener juntas a varias camadas desde el nacimiento, diseñamos plataformas, toboganes, tubos, etc., por los que pudieran desplazarse. Comparadas de adultas con otras criadas en condiciones habituales de laboratorio, en jaulas individuales, lo que en aquellos años denominábamos un medio enriquecido (en realidad se trataba de un medio un poco menos deprivado del habitual en los laboratorios) convertía a los animales criados en él en individuos mucho más activos en el campo abierto o en ruedas de actividad, más eficaces en los aprendizajes de discriminación en laberintos y más resistentes a la extinción de dichos aprendizajes una vez adquiridos (Linaza, 1974).

Pero, como señalábamos anteriormente, el juego con objetos es mucho menos frecuente en los mamíferos que el juego social o de interacción. Sin duda, en los humanos hay dos grandes categorías de juego de interacción que representan un alto porcentaje de nuestra actividad lúdica: los juegos de ficción y los juegos de reglas. Los últimos, incluyendo juegos de mesa y deportes, constituyen un importante capítulo de cualquier cultura humana y son practicados no sólo por niños sino por adultos. Entre las diversas funciones psicológicas que cumplen estas actividades cabe destacar la señalada por Piaget (1932): los niños aprenden jugando a practicar las reglas coordinando sus acciones con las de otros jugadores, pero, además, descubren que estas reglas, base del funcionamiento de cualquier sociedad humana, no son más que el resultado de los acuerdos entre ellos.

Sin embargo, estas dos grandes categorías de juegos, de ficción y de reglas, son de aparición tardía en el ser humano. Sólo a partir

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 fingien 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 durante la primera mitad de este siglo, es evidente que el avance ha sido notable. Pero la observación requiere identificar de modo claro y unívoco aquello que se está estudiando. En este sentido, el juego muestra una cierta peculiaridad respecto a otros comportamientos no lúdicos con los que, en ocasiones, se confunde y de los que, en otras, es mero precursor. Otra de las aportaciones de la etología es haber comenzado a desentrañar la complejidad de la comunicación entre los individuos de una misma especie y el papel clave que juegan determinados comportamientos en esa comunicación. Pero la señal puede serlo para quien la percibe sin que constituya en absoluto un objetivo explícito para quien la emite. Los cazadores son hábiles intérpretes de señales que, ni mucho menos, son enviadas por sus presas. Encontramos aquí un primer nivel de diferencias entre quien observa la señal y quien es observado. Pero hay señales que parecen serlo en el pleno sentido del término, enviadas con un objetivo preciso para su correcta interpretación. Y luego hay señales que determinan cómo interpretar otras que le siguen. Nos adentramos con ello en el complejo ámbito de la comunicación que, desde nuestro punto de vista, ha transformado la psicología actual. Pero también en el estudio del comportamiento animal está teniendo profundas consecuencias. Bateson ya comentaba la importancia de determinados comportamientos que condicionan el significado de todos aquellos que le siguen. La sonrisa del chimpancé o el movimiento del rabo en los cánidos serían ejemplos de estas metaseñales. Sin embargo, el significado (o la intención) de un comportamiento determinado sólo puede establecerlo el propio individuo que lo ejecuta. Por ejemplo, cuando nos referimos a un ser humano diríamos que forma parte de su condición de agente. Tratar de adentrarse en el significado o la intencionalidad de una acción (o de una interacción) para otro constituye una de las metas de una disciplina como la psicología y, en la vida cotidiana, uno de los requisitos de la intersubjetividad que nos permite actuar como humanos. El estudio de la comunicación y de su desarrollo ontogenético y filogenético constituye hoy un área de enorme actividad en la psicología. Por ello, el estudio de fenómenos como la atención conjunta (Scaife y Bruner, 1975), la ficción compartida (Leslie, 1987) o la teoría de la mente (Premack, 1981; Leslie, 1987) han puesto en el primer plano de la investigación psicológica la relevancia de las interacciones sociales en el propio desarrollo cognitivo.

En el caso de otros mamíferos, el juego social, el juego de lucha, requiere también de una coordinación y de una elaboración 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 continua alternancia 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, elicitación y solicitud 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). Este 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 solicitado 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 solicitado 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 juicio moral en el niño, versión cast., Barcelona, Fontanella.
- (1946): La formación del símbolo en el niño, versión cast., México, Fondo de Cultura Económico.
- (1966): «Response to Sutton-Smith», *Psychological Review*, 73: 111-112.
- Poole, T. B. (1985): *Social behaviour in mammals*, Glasgow, Blackie.
- Premack (1981): Does chimpanzee have a theory of mind?
- Smith, P. K. (1982): «Does play matter? Functional and evolutionary aspects of animal and human 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 mundo social en la mente infantil*, Madrid, Alianza Psicología.
- Wilson y Keiman (1982): «Eliciting Play: a comparative study», *American Zoology*, 14: 341-370.

CAPÍTULO 6

CEREBRO DISMINUIDO: EL VALOR DE LA EMOCIÓN Y LA MOTIVACIÓN

por JESÚS FLÓREZ y MARA DIERSEN

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 cimientado 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 adenililciclase 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-

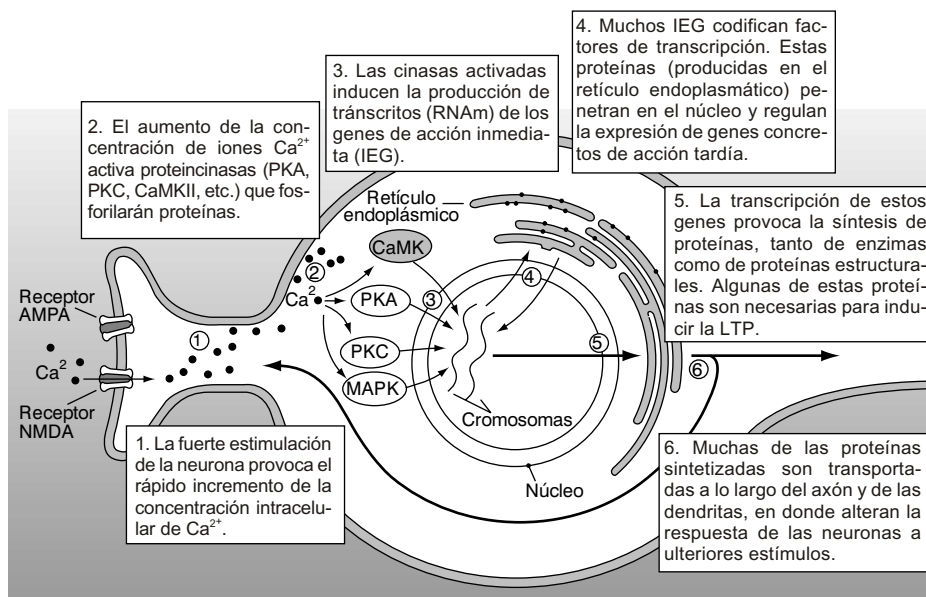


FIG. 6.1. Etapas de las cascadas neuroquímicas que pueden desarrollarse durante la inducción de la potenciación a largo plazo (por ejemplo, en la región CA1 del hipocampo). (Modificada de Flórez [1999b]).

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-

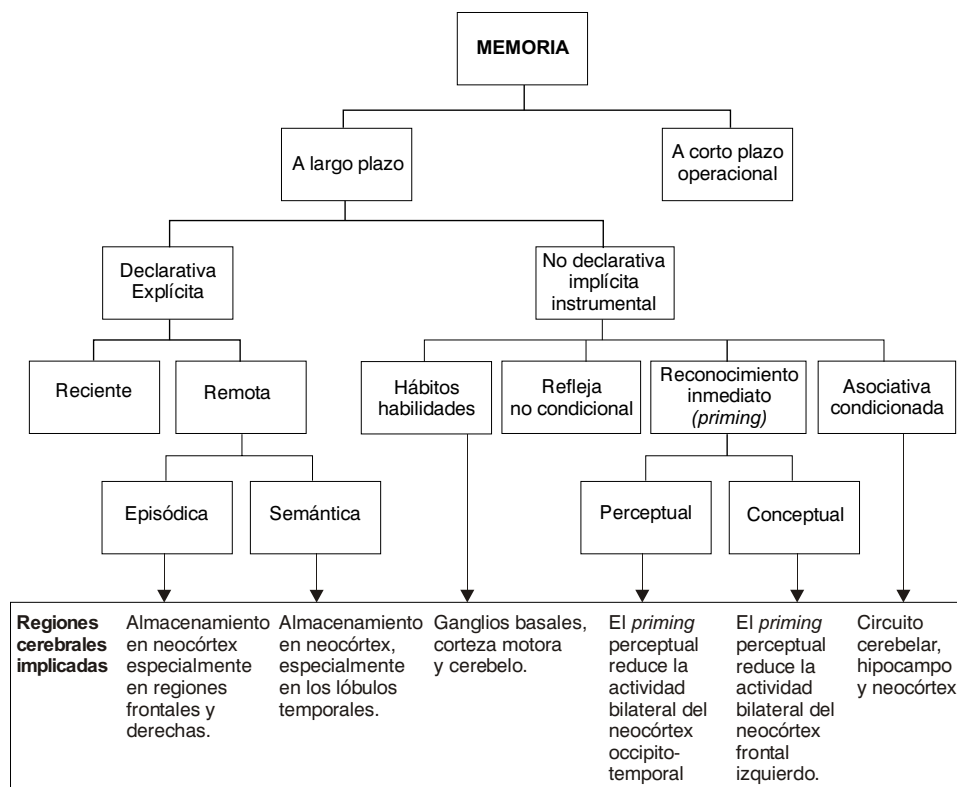


FIG. 6.2. Clasificación de las diversas formas de memoria y sistemas cerebrales implicados en cada una de ellas.

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 (Harum 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 (amigdalares), 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 amigdalares, 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 funcionando 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 experimentan 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 varie-

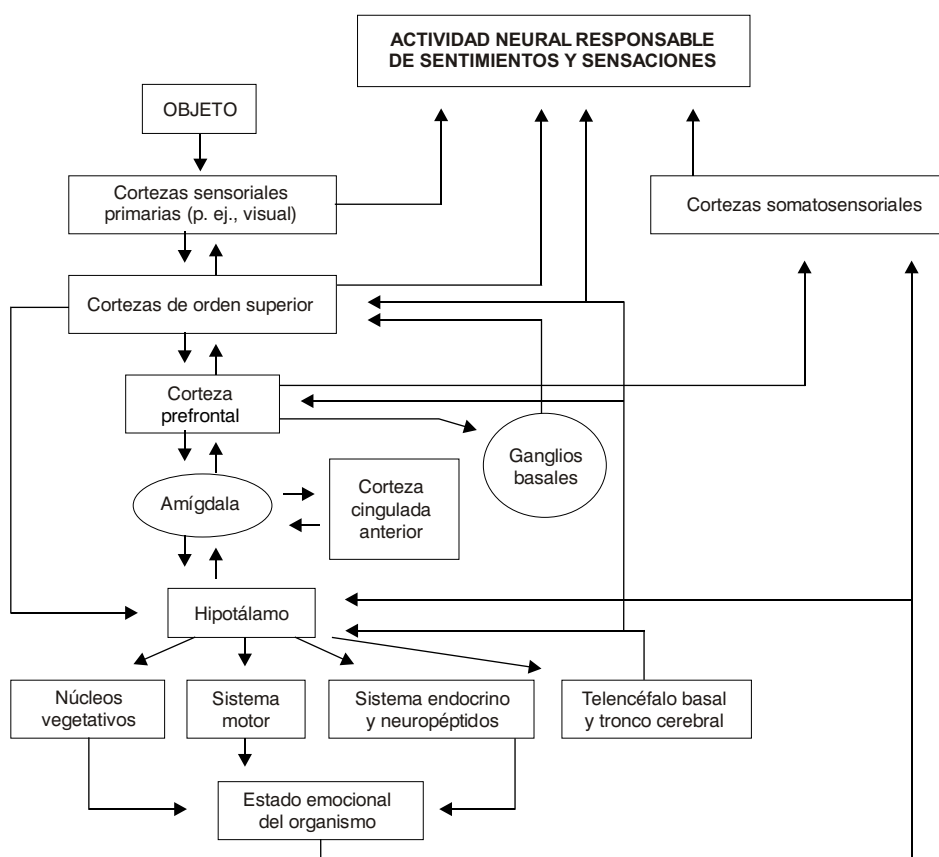


FIG. 6.3. Circuitos cerebrales implicados en los sistemas afectivos, emocionales y cognitivos.

dad de neuropéptidos cuyas acciones concurren en la instauración de un determinado sistema emocional. Igualmente, la capacidad de la nueva tecnología genética para detectar las neuronas que son activadas en el curso de determinadas experiencias conductuales, por ejemplo detectando los factores de transcripción que en esa circunstancia se expresan, ayudarán a perfilar estructuras y circuitos neuronales que intervienen en formas específicas de conducta.

En la investigación realizada en los seres humanos se tiene una confianza casi ilimitada en las técnicas de neuroimagen aplicadas a situaciones dinámicas. Nadie duda de la riqueza de sus aportaciones, pero es preciso señalar sus limitaciones en el área que nos ocupa, al menos en el momento presente. La rapidez de expresión de las emociones supera la operatividad actual de esta técnica. Por otra parte, existen serios problemas de interpretación, ya que las propias emociones pueden modificar el flujo sanguíneo y la oxigenación por mecanismos que nada tienen que ver con una auténtica activación neuronal.

Las emociones operan de modo interactivo en muchos niveles jerárquicos dentro del cerebro, y estos niveles, a su vez, se comunican entre sí bidireccionalmente. Esto significa que la conciencia afectiva experimentada internamente va a poder influir sobre la conducta de diversos modos. Esta conciencia afectiva puede no ser decisiva para promover rápidas respuestas emocionales, pero sí para marcar estrategias psicoconductuales a largo plazo. De hecho, nuestro aparato cognitivo es capaz de modular profundamente las tendencias emocionales.

Y es que en la respuesta emocional existe un componente de interpretación y de apreciación que es complejo, en parte rápido e inconsciente y en parte lento y deliberado, propio de una mente humana que ha de afrontar el cómo vérselas con situaciones emocionalmente difíciles. De entrada deberemos mantener la distinción entre las respuestas interpretativas y las afectivas. Aunque los procesos neurales de ambos tipos de respuesta interactúan ampliamente, esta distinción nos permite centrarnos en los temas más primariamente afectivos. Posiblemente, los mecanismos de la experiencia afectiva, de la conducta emocional y de la conducta motivadora se encuentran intrínsecamente entrelazados en las estructuras más antiguas del cerebro: en la amígdala, en los ganglios de la base, en parte de la corteza frontal y cingulada; o dispersamente distribuidas por diversas áreas cerebrales, o en representacio-

nes distribuidas jerárquicamente como antes se ha indicado, a lo largo de los sistemas emocionales ejecutivos que se extienden entre los niveles más superiores e inferiores del cerebro.

Nos parece particularmente importante mantener esta distinción entre los procesos afectivos y cognitivos, por más que exista una masiva interacción entre el aparato cognitivo y emocional. La conciencia afectiva puede alcanzar un grado de desarrollo claramente superior al de la conciencia estrictamente cognitiva. No pocos problemas de desarrollo que atañen al cerebro pueden afectar estructuras de aparición más tardía, más estrictamente neocorticales, que perturban la laminación e interfieren el cableado final de la corteza, preservando en cambio estructuras corticales y subcorticales de desarrollo más primitivo y suficiente para dar base estructural neural a la conciencia afectiva.

El problema está en comprobar en un individuo concreto cómo el mundo de la interpretación consciente y de la evaluación modula el mundo de la conciencia afectiva, y sobre todo, en qué grado este último, adecuadamente intervenido y ejercitado, puede influir sobre el mundo cognitivo. Lo normal es que, una vez que se despierta el sistema emocional y motivacional, entren en acción diversas funciones cerebrales de orden superior, desde sutiles apreciaciones a planes concretos. Estas interacciones entre emoción y cognición forman parte de la vida diaria de cada persona, de modo que resulta más fácil recordar los acontecimientos relacionados con episodios emotivos más que reexperimentar las emociones vividas. ¿Qué elemento predomina: el control cognitivo que ejerce su influencia sobre el proceso afectivo, o es más fuerte la influencia ascendente de lo afectivo sobre lo cognitivo? En términos neuroanatómicos y neuroquímicos parece que el flujo ascendente es predominante, lo que explica el hecho de que las emociones y los afectos influyan sobre nuestras decisiones de forma masiva y permanente. Bien es verdad, sin embargo, que el grado de corticalización alcanzado en nuestra especie permite ejercer un control frecuentemente decisivo sobre nuestras emociones y su correspondiente expresión.

5. Conclusión

Si esto es así, y si recordamos que ante un cerebro disminuido debemos preguntarnos, por encima de cualquier otra consideración, cuáles son sus capacidades y habilidades, resulta evidente

que la influencia afectiva y emocional puede jugar un papel determinante en el aprendizaje, desarrollo y consolidación de tales capacidades. Dicho así, resulta harto inconcreto porque ni toda influencia afectiva modula cualquier conducta o función cognitiva, ni toda minusvalía cerebral se caracteriza por un elenco similar de carencias y capacidades. Se ha afirmado que, desde un punto de vista de la psicología evolutiva, la finalidad de los procesos cognitivos está en ofrecer soluciones más sutiles a los problemas que plantean los estados de actividad emocional; posiblemente, el devenir evolutivo ofrece una perspectiva bastante más ambiciosa. Lo que sí nos parece cierto es que, en términos evolutivos, los estados emocionales del ser humano adquieren tareas de gran calado, ya que llegan a suscitar actividades cognitivas y, no menos importante, actitudes mentales que de otro modo quedarían ignotas. Esto, que es válido para cualquier cerebro, disminuido o no, cobra particular trascendencia en situaciones en que la capacidad cognitiva se encuentra alterada, ya que las aferencias emocionales y motivacionales llegan a suplir carencias de estímulos de otro carácter.

La emoción en el ser humano no es un lujo; nos ayuda a razonar y a tomar decisiones; nos ayuda a comunicar nuestro contenido mental a otras personas. No podemos decir que la emoción sea lo opuesto a la cognición porque no actúan de manera separada. Por otra parte, si se suprimen los sentimientos de la tarea cognitiva pierden sus sistemas de orientación, se hacen irracionales.

Retornemos al punto en que se inició este análisis. Nuestra vida es el resultado, ojalá que armónico, de nuestra conducta, nuestra cognición, nuestros afectos y motivaciones y nuestra deliberada acción volitiva y ejecutiva. Hemos tratado de mostrar que un cerebro disminuido no tiene por qué carecer ni de motivaciones ni de afectos, y que éstos, convenientemente fortalecidos y utilizados por una acción educativa inteligentemente diseñada y pacientemente aplicada, son capaces de activar los resortes biológicos disponibles para desarrollar al máximo la potencialidad cognitiva que hubiere: en esta o en aquella área, en esta o en aquella habilidad, en esta o en aquella faceta y mostrar así su propio grado de inteligencia.

El grado o intensidad de volición y, sobre todo, la naturaleza de la intención hacia la cual esa volición se encauza, no guarda relación alguna con la capacidad de desarrollar complicados argumentos cognitivos. En cambio, saber aplicar y ajustar con tenacidad la acción en el rumbo marcado por el deseo, y saber adaptar los deseos a la realidad marcada por las propias posibilidades 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 vieren 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): «Impaired short- and long-term memory in Ts65Dn mice, a model for 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 disabilities», *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 pathway necessary for long-term memory formation?», *Trends Neurosci.*, 22: 38-44.
- Palmer, S. B.; Wehmeyer, M. L. (1998): «Students' expectations of the future: hopelessness as a barrier to self-determination», *Ment. Retard.*, 36: 128-136.
- Panksepp, J. (1998): *Affective Neuroscience: The Foundations of Human and Animal Emotions*, Nueva York, Oxford University Press.
- Pintrich, P. R.; Anderman, E. M. y Klobucar, C. (1994): «Intraindividual differences in motivation and cognition in students with and without learning disabilities», *J. Learn. Disabil.*, 27: 360-370.
- Rogan, M. T. y LeDoux, J. E. (1996): «Emotion: systems, cells, synaptic plasticity», *Cell*, 86: 469-475.
- Siarey, R. J.; Stoll, J.; Rapoport, S. I. y Galdzicki, Z. «Altered long-term potentiation in the young and old Ts65Dn mouse, a model for Down syndrome», *Neuropharmacology*, 36: 1549-1554.
- Yin, J.; Wallach, J. S., Vecchio, M. del et al. (1994): «Induction of a dominant negative CREB transgene specifically blocks long-term memory in *Drosophila*», *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 Velasquez, 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 artificial”, 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 cognitiva de la IA existen dos tipos de actividades básicas:

- a) IA como ciencia de lo natural (análisis).
- b) IA como ingeniería (síntesis).

En la primera actividad se busca la comprensión de los procesos cognitivos. En la segunda se busca la síntesis de estos procesos intentando construir una auténtica «ingeniería del conocimiento» con las características propias de las otras ingenierías de la materia y la energía.

Si somos capaces de comprender y modelar de forma computable los procesos de visión y añadimos al computador, en el que reside ese programa de «visión», los sensores adecuados decimos que tenemos un sistema de visión artificial. Y lo mismo ocurre con el resto de los procesos. Así, por ejemplo, si completamos los sensores visuales con otros de señales acústicas, «tacto» y propiocepción y añadimos después un conjunto de efectores (tales como ruedas, motores y manipuladores) tenemos el «cuerpo» de un robot. Al añadirse un conjunto de microprocesadores en los que pueda residir un programa con el conocimiento computable sobre el procesamiento de esos datos «sensoriales» y su uso posterior en la planificación y control del movimiento de los efectores (ruedas y manipuladores) decimos que tenemos un robot autónomo.

Análogamente, cuando nos centramos en los procesos cognitivos «intermedios» entre la percepción y la acción motora, las tareas de decisión, razonamiento e inferencia, no nos tenemos que preocupar de sensores ni de efectores. Aquí el problema está en modelar el conocimiento que tienen los expertos humanos (médicos, abogados, ingenieros, geólogos o profesores) para realizar su tarea, en general de naturaleza científico-técnica. Por ejemplo, el diagnóstico, la supervisión y control de un proceso, el procedimiento de diseño de una máquina o la función de enseñar (sistemas tutoriales «inteligentes»). En todos estos casos el resultado final es un programa («sistema experto») residente en un computador de propósito general (un PC en muchos casos) que actúa como consejero del experto humano o lo sustituye en situaciones especiales.

Estos dos tipos de tareas se abordan en la actualidad usando métodos simbólicos, conexionistas (redes de «neuronas» artificiales) o híbridos. En los métodos simbólicos, todo debe quedar programado de forma explícita y declarativa y se acepta implícitamente

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

a) b)

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 claro 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. Velasquez, 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. Velasquez, 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

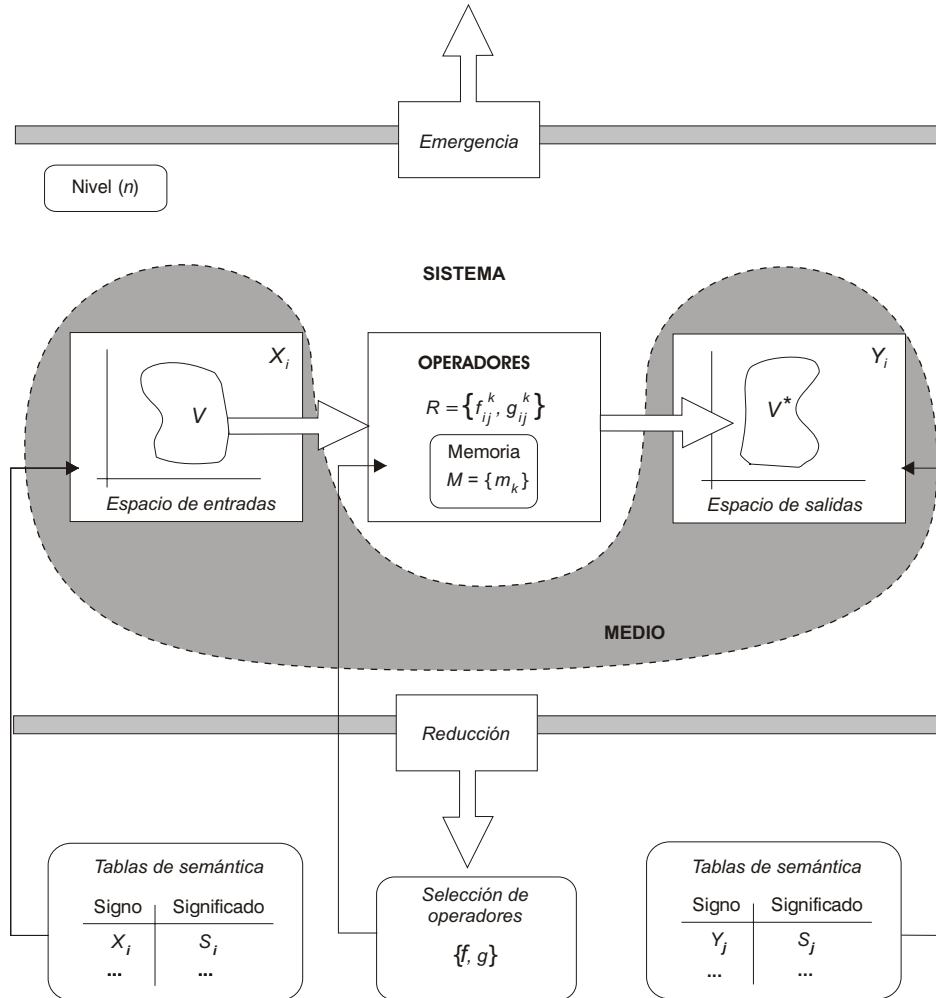


FIG. 7.2. Modelo computacional en un nivel. Los espacios de entrada y salida son, en general, espacios de representación con tablas de semántica dependientes del nivel y del conocimiento que se quiere modelar; los operadores deben ser acordes con la naturaleza de los datos experimentales.

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:

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

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 $\{x_i(t), x_i(t + t), x_i(t + 2t), \dots\}$ en la correspondiente secuencia de representaciones de salida $\{y_j(t), y_j(t + t), y_j(t + 2t), \dots\}$, 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 usamos 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](#):

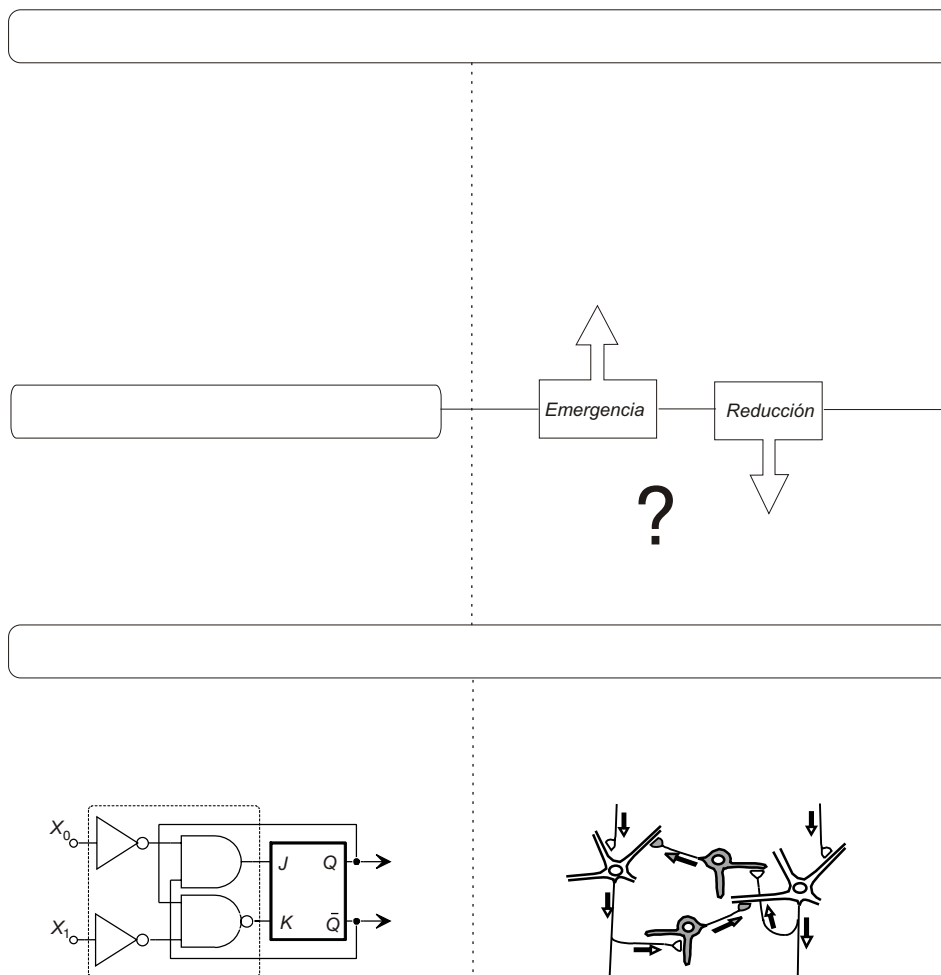


FIG. 7.3. Niveles de descripción de un cálculo igualmente válidos para la descripción del SN y la conducta emergente a partir del comportamiento de las redes neuronales. I. Nivel de conocimiento. II. Nivel de los símbolos computables (lenguaje de programación) o neurofisiológicos. III. Nivel físico (la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

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 intranivel 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 meta dominantes. 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 extinguendo 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-

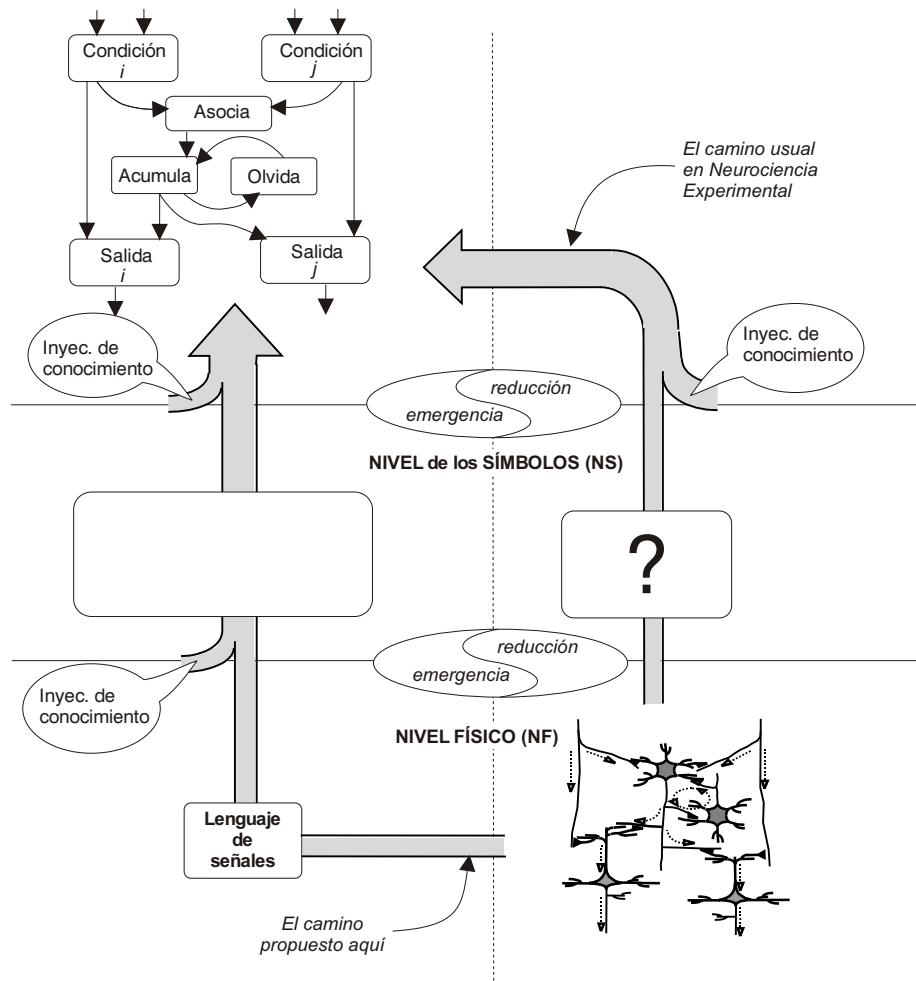


FIG. 7.4. Ilustración del uso del marco conceptual de «niveles y dominios» de descripción para establecer conexiones entre procesos anatomofisiológicos subyacentes y comportamiento en el caso del arco reflejo usado por LeDoux para estudiar la emoción. Evidentemente, cambiando el circuito del nivel fisiológico y el modelo esquelético 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-

estructuras anatomofisiológicas («puertas» abiertas por esas «llaves»).

Actúan: Estas «llaves» neuronales actúan como enlaces dinámicos y han sido adquiridas (anatómica y funcionalmente programadas) por la evolución y la genética o por el aprendizaje. Representan (sustituyen) al referente externo en todos los procesos de información subsiguientes.

— Símbolos en el DO:

Designan:

- a) Entidades del medio relevantes para la supervivencia.
- b) Relaciones multimodales y temporales entre estas entidades.
- c) Conceptualizaciones primarias (señales de alerta, homeóstasis...).
- d) Reacciones compensatorias.
- e) Estabilidad de la especie (símbolos sexuales, de agresión o escape..., descriptores de necesidades internas, sueño, sed...).

Finalmente, para recuperar el modelo nivel de conocimiento nos hace falta:

— Nivel de conocimiento:

Un nuevo conjunto de abstracciones, desde el nivel de los símbolos neurofisiológicos hasta el nivel de conocimiento cuya ontología da lugar a las descripciones en lenguaje natural de lo que llamamos «actividad emocional» o «comportamiento inteligente». De nuevo, estas segundas abstracciones deben ser independientes del simbolismo y, a su vez, independientes del nivel físico.

Supongamos que damos por finalizado el análisis del nivel físico, que ya sabemos todo lo referente a las señales y los operadores que las transforman. Es decir, que disponemos de una teoría neuronal completa a nivel físico, de forma análoga a como los físicos y los ingenieros electrónicos conocen la electrónica digital y la arquitectura de ordenadores. ¿Conoceríamos ya lo que está calculando la máquina?, ¿conoceríamos los procesos cognitivos emergentes de las redes neuronales?, ¿conoceríamos 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 entre estos símbolos (NC y DO) y sus significados formales (NC y DP).

En la primera reescritura del modelo obtendríamos:

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

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»:

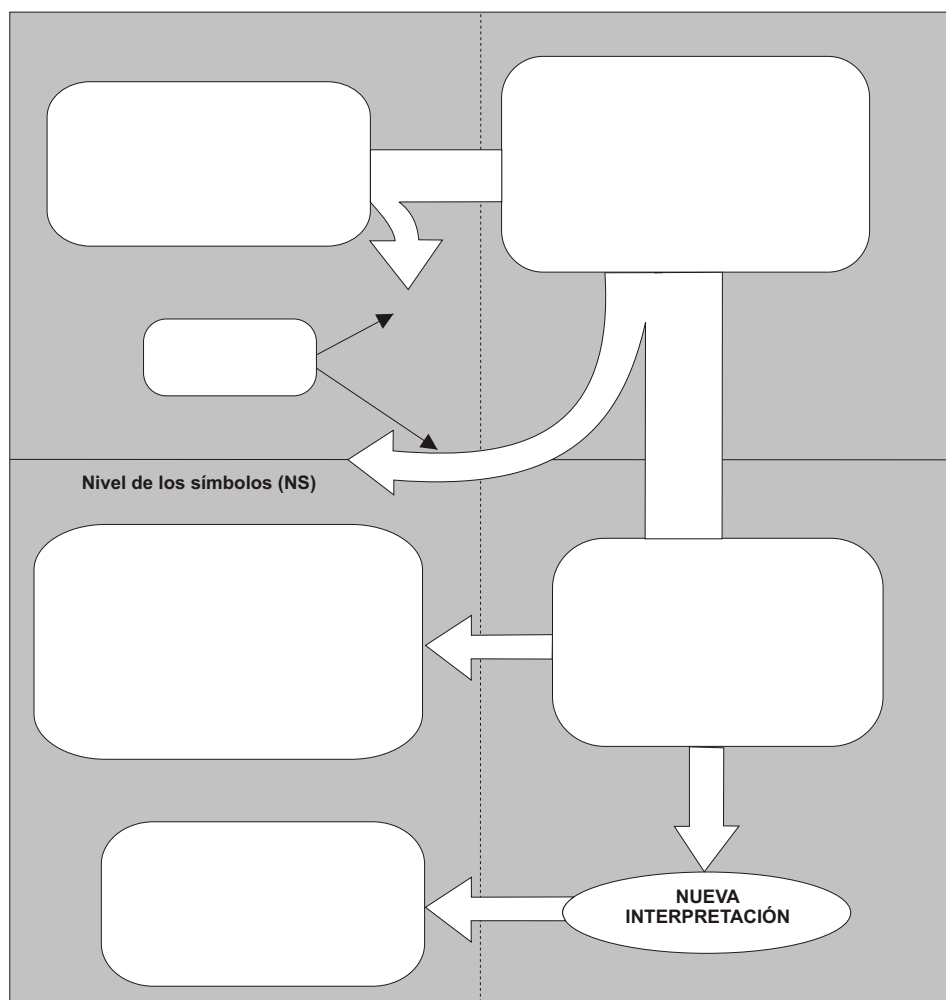


FIG. 7.5. Dos interpretaciones de un mismo programa. (Véase descripción en el tex-

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

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 Velasquez, J. (1998): «Toward Teaching a Robot "Infant" 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 Levels in SCHEMA: A Knowl-

- edge Edition Interface», en J. Mira, A. del Pobil y M. Ali (eds.) (en prensa) IEE Proceeding-Software Engineering. Special issue on Software Reuse.
- Kathib, O. (1985): «Real-Time Obstacle Avoidance for manipulators and Mobile Robots», IEEE International Conference on Robotics and Automation, 25-28 de marzo, pp. 500-505, Saint Louis, Missouri.
- LeDoux, J. E. (1995): «In Search of an Emotional System in the Brain: Leaping from fear to Emotion & Consciousness», en M. S. Gazzaniga, M. S. (ed.), *The Cognitive Neurosciences*, The MIT Press, pp. 1049-1061.
- LeDoux, J. E. y Fellous, J. M. (1995): «Emotion and Computational Neuroscience», en M. A. Arbib (ed.), *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, The MIT Press, pp. 356-359.
- Lozano-Pérez, T. (1983): «Spatial Planning: A Configuration Space Approach», *IEEE Trans. on Computers*, 32 (2), 108-120.
- Luria, A. R. (1974): *El cerebro en acción*, Fontanella, Barcelona.
- Marr, D. (1982): *Vision*, Nueva York, Freeman.
- Maturana, H. R. (1975): «The Organization of the Living: A theory of the Living Organization», *Int. J. Man-Machine Studies*, 7, pp. 313-332.
- McCulloch, W. S. (1965): *Embodiments of Mind*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
- McCulloch, W. S., y W. Pitts (1943): «A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, pp. 115-133.
- Mira, J. (1996): «Reverse Neurophysiology: The “Embodiments of Mind”», en R. Moreno-Díaz y J. Mira-Mira J. (eds.), *Brain Processes, Theories and Models*, Mass., The MIT Press, pp. 37-49.
- (1998): «Operaciones “Inteligentes” en Sistemas Artificiales: La Perspectiva de la Inteligencia Artificial en la Comprensión del Sistema Nervioso», *Revista de la Real Academia de Medicina de Catalunya*, vol. 12, sup. 1. pp. 87-107.
- Mira, J. (1999): «Inteligencia artificial, emoción y neurociencia», *Arbor* CLXII, 640 (abril), pp. 473-506.
- Mira, J. et al. (1995): *Aspectos básicos de la inteligencia artificial*, Madrid, Sanz y Torres, pp. 485-575.
- Mira, J. y Delgado, A. E. (1987): «Some Comments on the Antropocentric Viewpoint in the Neurocybernetic Methodology», *Proc. of the Seventh International Congress of Cybernetics and Systems*, vol. 2, Londres, pp. 891-895.
- (1995): «Computación neuronal avanzada: fundamentos biológicos y aspectos metodológicos», en S. Barro y J. Mira (eds.), *Computación Neuronal*. Cap. VI, Servicio de Pub. e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela, pp. 125-178.
- (1997): «Some Reflections on the Relationships Between Neuroscience and Computation», en J. Mira, R. Moreno-Díaz y J. Cabestany (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 evolución y consustancial y pariente de sus congéneres los animales. Del hombre como producto de un trasiego 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 quizá 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 ofertaban 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 clausuro 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 “frías” 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 supuesto «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 neurociencia. Sí sabemos, por ejemplo, que durante este período hay una profunda remodelación de la corteza cerebral (de asociación, lo que incluye la corteza prefrontal) responsables, en parte, de todas las funciones superiores (intelectuales) del individuo humano. En estas áreas frontales hay por ejemplo una pérdida de su número total de neuronas, comparadas con otras áreas de la corteza (motoras) y también que las neuronas que permanecen aumentan mucho más de tamaño y volumen comparadas de nuevo con esas otras áreas motoras (Mora y Peña, 1998). Otros cambios de este período incluyen no sólo la mielinización de esas áreas de asociación sino también y de modo sobresaliente la aparición y desarrollo de ciertos sistemas de neurotransmisores (corteza prefrontal) (Mora y Peña, 1998).

Propongo que esa «ventana plástica emocional» que se abre alrededor de la pubertad y la adolescencia es como un imprinting cerebral del marco social de referencia del individuo en ese período de desarrollo. El que, previa la disposición cerebral de ese mismo individuo (genética, educativa y emocional), le imprime «a fuego» una conducta, un modo de procesar la información por su cerebro y una forma de actuar en el mundo.

Conocer los mecanismos por los cuales opera el cerebro emocional en estas edades tempranas y cómo procesa y codifica ese complejo ingrediente de carga genética, carga ambiental biológica, educación y cultura en el contexto de una invasión hormonal crítica que «abre» el cerebro y fija nuevos patrones de conducta «individual» es absolutamente imprescindible para conocer las raíces biológicas de la conducta emocional humana.

4. Emoción y valores morales

En la autoestima del hombre, tomada ésta como patrón básico de su realización personal, hay una escala de valores. El hombre se realiza, se hace a sí mismo, alcanzando logros de bienestar a través de normas éticas que él mismo ha ido creando con el tiempo. Nadie discutiría que estas normas son los pilares que sostienen su convivencia pacífica y civilizada con los demás. Y a poco que pensemos en ello veremos que estas normas, estos valores morales, tienen su asiento último en los mecanismos más primitivos de nuestro cerebro: los mecanismos 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: enthusiasm 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 strength 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 excel-situd 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 libro una conversación telefónica que mantuvo con la filósofa norteamericana Patricia Churchland acerca del experimento que hizo un psicólogo canadiense llamado Michel Persinger. Persinger, utilizando un estimulador magnético transcraneal, estimuló parte de sus lóbulos temporales y refirió asombrado que por primera vez en su vida sintió a Dios. Esta descripción, si no fuera por el acto de autoestimularse con una nueva tecnología no invasiva, no es del todo sorprendente. El lóbulo temporal, en particular el lóbulo temporal izquierdo y sus patologías, ha sido asociado por los neurólogos, desde hace tiempo, con experiencias religiosas de sus pacientes. En particular, ataques epilépticos con focos en esta área del cerebro se acompañan de experiencias de intensa religiosidad y espiritualidad. Sentimientos que van desde la experiencia de un intenso éxtasis hasta la desesperación más profunda. En muchos pacientes, además, estas experiencias «de incendio sentimental» o «éxtasis» les lleva a una profunda religiosidad el resto de su vida.

Algunos pacientes con estas experiencias espirituales tan profundas señalan: «Por fin lo entiendo todo. Éste es el momento que he esperado toda mi vida. De pronto todo tiene sentido.» Y también: «Por fin he penetrado en la auténtica naturaleza del cosmos.» «Me parece irónico —señala Ramachandran— que esta sensación de iluminación, esta convicción absoluta de que por fin se les ha revelado la Verdad, se derive de estructuras límbicas especializadas en emociones, y no de las áreas cerebrales del pensamiento racional, que tan orgullosos están de su capacidad de discernir lo verdadero de lo falso.»

Ramachandran se pregunta además: «¿Cómo se explican los intensos arrebatos de éxtasis religioso que experimentan los pacientes con ataques del lóbulo temporal o su afirmación de que Dios habla con ellos?... o de la luz divina que ilumina todas las cosas o verdad definitiva que está completamente fuera del alcance de las mentes normales, demasiado inmersas en el ajetreo de la vida cotidiana para darse cuenta de la belleza y la grandeza de todo ello?» Ciertamente, es posible que esto sólo sea una patología, como lo puede ser un proceso esquizofrénico (aun cuando esto último no parece ser el caso, dado que los pacientes comunican y tienen sano contacto con la realidad y con los demás). Añadido a ello: ¿por qué estas alucinaciones sólo ocurren cuando están afectados los lóbulos 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?, ¿podría 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 Blakelslee, 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): «Hospitalism. A follow-up report of investigation described in Vol. 1 (1945)», *Psychoanal. Study Child*, 2: 113-117.
- Wilson, E. O. (1978): *On Human Nature*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- (1998): *Consilience*, Nueva York, Alfred A. Knopf.
- Young, Z. J. (1978): *Programms of the Brain*, Oxford, Oxford University Press.
- Zeki, S. (1999): *Inner Vision*, Oxford, Oxford University 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 cm² y su espesor oscila entre 1,3 y 4,5 mm, con un volumen de 600 cm³. 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 rinen céfalo.
- 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. Dificil 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 anomalía 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 ($\text{COOH-CH}(\text{NH}_2)\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$). 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 anteromedial 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 depende 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 neuronal 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 neuronal 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 neuronal artificial: coeficiente de ponderación. Magnitud que se aplica a cada conexión en las unidades de una red.
- Red neuronal artificial: función. Depende principalmente de los coeficientes de ponderación de cada contacto y de la función de transferencia especificada para cada unidad.
- Red neuronal 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 neuronal recurrente. Red neuronal 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 computa-
ción, 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 re-
guladores 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 cog-
nitiva, 159
Métodos probabilísticos en IA cog-
nitiva, 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 computa-
 ción, 162
 Nivel fenomenológico en neuro-
 ciencia, 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 posi-
 tivo, 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 motivaciona-
 les, 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 abu-
 so, 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 se-
 xualidad 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 mesolímbico, 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