

Neurobiología de la conciencia: la actividad mental de la materia

Laureano Castro Nogueira - Miguel Angel Toro Ibanez
1 julio, 2002

I of the Vortex: From Neurons to Self

RODOLFO LLINÁS

The MIT Press, Cambridge, Massachusetts

La sensación de lo que ocurre: Cuerpo y emoción en la construcción de la conciencia

ANTONIO DAMASIO

Editorial Debate, Madrid, 384 págs. 22,79 €

Traducción de Francisco Páez de la Cadena

A Universe of Consciousness: How Matter Becomes Imagination

GERALD EDELMAN, GIULIO TONONI

Basic Books, Nueva York,

El cerebro humano es uno de los objetos más complejos del universo. A pesar de su pequeño tamaño, con un peso promedio de sólo 1.400 gramos, está formado por unos 100.000 millones de células nerviosas o neuronas que, debido a las múltiples conexiones que establecen entre sí, constituyen una impresionante red de circuitos neuronales en los que se genera nuestra capacidad de percibir, de emocionarnos, de recordar, de pensar y de ser conscientes de nuestra propia existencia. Todas estas actividades del cerebro se denominan fenómenos mentales y constituyen la esencia de lo que denominamos mente. Nadie duda en la actualidad de que la actividad mental requiere actividad cerebral, pero las discrepancias surgen cuando se trata de definir el tipo de relación que se establece entre mente y cerebro. La incógnita que se plantea es si la actividad cerebral da lugar sin más a la mente o si, por el contrario, existe una entidad diferente, inmaterial, que utiliza el cerebro como instrumento para manifestarse, originando la actividad mental.

Esta relación entre cerebro y mente ha sido, y probablemente continuará siéndolo, un problema filosófico de primer orden que ha preocupado a los pensadores desde la Grecia clásica hasta nuestros días. La mayor parte de las respuestas que encontramos en la historia del pensamiento las podemos situar entre el dualismo platónico, que postula la existencia en el ser humano de dos sustancias, el

alma -inmaterial e inmortal- y el cuerpo -material y mortal-, del cual el alma es prisionera en esta vida; el monismo materialista de Demócrito, que niega la existencia de una entidad inmaterial; y el interaccionismo aristotélico, que considera el cuerpo y el alma como dos componentes inseparables de una única sustancia, el ser humano.

Curiosamente, el problema mentecerebro, que tan ocupado ha tenido a los filósofos durante siglos, ha sido ignorado casi totalmente por la ciencia moderna hasta hace unos años. Buena parte de la culpa la tuvo el dualismo cartesiano, con su nítida distinción entre el espíritu, la sustancia pensante (*res cogitans*), y el cuerpo, la sustancia extensa (*res extensa*), que entraban en contacto a través de la glándula pineal. Para Descartes y para Galileo, la ciencia sólo se puede ocupar de investigar el mundo físico y, por tanto, la actividad mental, manifestación del espíritu, queda fuera de su alcance. Esta distinción contribuyó al desarrollo de la ciencia a partir del siglo XVII, ya que dificultó la injerencia religiosa en el ámbito de la investigación científica, pero también condicionó el estudio del cerebro cuando la psicología surgió como ciencia en la última parte del siglo XIX.

El conductismo, paradigma dominante en la psicología durante buena parte del siglo XX, contribuyó muy poco al estudio del problema mentecerebro, ya que, interesado en el estudio del comportamiento, prestó poca atención a lo que sucedía en el interior del cerebro, considerando a éste como una caja negra de estructura desconocida pero irrelevante a la hora de determinar la conducta de los organismos. Por ello, el estudio de procesos mentales como la percepción, la memoria o el pensamiento fueron relegados a un segundo plano. Esta situación dio un vuelco espectacular con el desarrollo de la psicología cognitiva, que dirigió su atención precisamente hacia la mente, hacia los procesos psicológicos que median entre la información sensorial y las respuestas motoras. Más recientemente, la neurobiología, centrada en el estudio de la actividad cerebral, ha adquirido un gran protagonismo gracias al desarrollo de técnicas de investigación que permiten acceder al interior de nuestras cabezas y desentrañar las claves de la actividad cerebral. Especialmente decisivo para el progreso de la investigación en neurociencia ha sido el desarrollo en los últimos años de nuevas técnicas de investigación no invasivas, como la tomografía por emisión de positrones (PET) o la imagen por resonancia magnética funcional (IRMf), que permiten generar neuroimágenes de aquellos circuitos neuronales que se activan cuando un sujeto efectúa una actividad mental concreta como, por ejemplo, observar un determinado objeto, pensar una palabra o ejecutar una acción. En palabras de Antonio Damasio, autor del segundo de los libros que se reseñan, se ha avanzado más en el conocimiento del cerebro desde 1990 que en todos los años anteriores.

Una consecuencia de estos avances ha sido la de situar el estudio de la conciencia dentro del ámbito de la investigación científica, convirtiéndolo en el gran reto al que ha de hacer frente la neurobiología del siglo XXI. Sin duda, las dificultades son enormes debido a la complejidad del cerebro y, sobre todo, a la propia naturaleza de la experiencia consciente, que es, ante todo, una experiencia subjetiva que se conoce a través de la introspección, del análisis en términos de primera persona y, por tanto, alejada del ámbito del método científico que precisa, por definición, experiencias objetivas, analizables en términos de tercera persona, es decir, por más de un observador. Pero a pesar de las

dificultades, es innegable que un número cada vez mayor de neurobiólogos, psicólogos, filósofos y científicos en general, han apostado fuerte por la posibilidad de estudiar el fenómeno de la conciencia y tratan de descubrir sus secretos aproximándose a ella desde perspectivas epistemológicas diferentes. Científicos como Francis Crick, Christof Koch, Roger Penrose, Stuart Hameroff, Gerald Edelman, Antonio Damasio o Rodolfo Llinás, y filósofos como Paul Churchland, Daniel Dennett, Jerry Fodor, David Chalmers o John Searle, entre otros muchos, han contribuido con sus trabajos durante la pasada década de los noventa a enriquecer un debate con planteamientos que, en la mayor parte de los casos, difieren mucho de los que sólo unos años antes, en 1977, habían utilizado dos figuras tan señeras de la neurobiología y de la filosofía como sir John Eccles y sir Karl Popper, respectivamente, en su conocido libro *El yo y su cerebro*.

De entre las distintas aproximaciones que se están haciendo al problema de la conciencia, pensamos que la más prometedora es la que procede del campo neurobiológico. Los tres libros objeto de este comentario son especialmente apropiados para revisar las aportaciones realizadas por la neurobiología, ya que sus autores –Gerald Edelman (y Giulio Tononi), Antonio Damasio y Rodolfo Llinás– son sin duda, junto con Francis Crick, el codescubridor de la estructura de doble hélice del ADN, las figuras más relevantes que han trabajado hasta el momento sobre este tema. En lo que sigue vamos a analizar cada una de las tres propuestas por separado, pero comenzando, para facilitar el estudio, con una descripción conjunta de aquellos supuestos epistemológicos y metodológicos que comparten, aunque esto comporte el riesgo de forzar algunas similitudes entre sus posiciones.

PRINCIPIOS EPISTEMOLÓGICOS Y METODOLÓGICOS

El primer problema que encontramos al hablar de la conciencia es el de su definición. En los tres libros se considera que la conciencia es el estado mental en el que nos hallamos cuando despertamos y que prosigue hasta que volvemos a dormirnos con un sueño profundo, sin ensoñaciones, o nos hallamos bajo el efecto de una anestesia general, entramos en coma o nos morimos. Los sueños pertenecen al campo de la conciencia, ya que permiten formar imágenes, pensamientos e incluso generar órdenes motoras, de manera similar a cuando estamos despiertos. Los estados conscientes comprenden, por tanto, toda una serie de grados de intensidad que van desde la máxima atención a un estado somnoliento. Por una parte, los autores consideran que la conciencia es ante todo un proceso encarnado en el cuerpo que emerge de la actividad de las células nerviosas, pero mientras que el cuerpo y el cerebro son entidades públicas, externas y objetivas, la conciencia es una entidad privada, interna y subjetiva. Es evidente la dificultad que supone investigar la mente consciente teniendo que utilizar como instrumento la propia mente consciente. Sin embargo, los autores confían en que el progreso de la neurobiología, elaborando hipótesis contrastables y realizando los experimentos pertinentes, permitirá en un tiempo no muy lejano desarrollar una teoría de la conciencia en la que ésta aparezca no como un misterio de naturaleza desconocida, sino como el más complejo de los fenómenos biológicos conocidos.

Edelman y Tononi resumen los tres principios metodológicos en los que se fundamenta su propuesta, principios que son extensibles a las teorías de los otros dos autores. El primero es la asunción de que

en la explicación de la conciencia sólo se requieren procesos físicos convencionales. Es decir, la conciencia es un tipo especial de proceso biológico que surge en la estructura y dinámica de ciertos cerebros, de manera que cualquier referencia a espíritus o almas se deja de lado. No supone esto negar la existencia de los procesos mentales, sino otorgarles la condición de procesos de naturaleza física (biológica). La cuestión, por supuesto, es descubrir cuáles son esos procesos biológicos que no sólo se corresponden con procesos mentales, sino que son lo que hoy definimos como procesos mentales.

El segundo es el supuesto evolucionista, según el cual la conciencia ha surgido durante el proceso evolutivo bajo la acción de la selección natural. La conciencia depende de procesos dinámicos generados por ciertas estructuras biológicas que han ido surgiendo en el proceso evolutivo. La conciencia es un instrumento eficaz en la lucha por la supervivencia y la reproducción de los individuos. Damasio defiende que la presión de selección inicial que condujo al desarrollo de la conciencia pudo provenir de su contribución a la homeostasis corporal, al mantenimiento de las constantes físico-químicas apropiadas para la vida en el interior de los organismos. Llinás, en cambio, pone el énfasis en la necesidad de generar una estructura que centralice y coordine el movimiento de los organismos. En todo caso, los procesos conscientes han surgido hace relativamente poco en la evolución y, por tanto, sólo una parte de las especies animales poseen esta propiedad.

El tercer supuesto afirma que los aspectos subjetivos, cualitativos –los *qualia*– de la conciencia, dado que son privados, no pueden ser expresados directamente mediante una teoría científica que, por su propia naturaleza, tiene que ser necesariamente pública y objetiva. Esta imposibilidad es lo que el filósofo David Chalmers ha popularizado con el nombre de *problema duro* de la conciencia. Ahora bien, asumir que eso es imposible no significa cuestionar que se pueda elaborar una teoría de la conciencia capaz de definir las condiciones necesarias y suficientes para que ésta se produzca, sino que describir esas condiciones no es lo mismo que generarlas o experimentarlas.

En resumen, las propuestas neurobiológicas que encontramos en estos libros se pueden catalogar, desde un punto de vista filosófico, como un monismo materialista emergentista (*qualified realism*, en palabras de Edelman y Tononi), pero utilizando la palabra emergencia sin ningún contenido místico, tal y como se usa en química cuando se dice que las propiedades del agua emergen de la combinación del hidrógeno y del oxígeno pero no pueden reducirse a las propiedades por separado del hidrógeno y del oxígeno. Esta posición los separa drásticamente del dualismo cartesiano, o de cualquier forma de idealismo y del pansiquismo. Pero también los distancia de las propuestas ultrarreduccionistas del materialismo eliminativo que niegan la existencia objetiva de las experiencias subjetivas de la conciencia, los *qualia*, así como de los planteamientos cibernéticos de la inteligencia artificial, que equiparan la conciencia con un programa de ordenador implementado en un *hardware* orgánico, el cerebro, y también de los intentos de explicar los fenómenos conscientes recurriendo a fenómenos cuánticos en niveles subcelulares como, por ejemplo, la estructura de los microtúbulos.

LA APARICIÓN DE LA CONCIENCIA

Gerald Edelman, coautor junto con Giulio Tononi del primero de los libros que reseñamos, *A Universe of Consciousness*, es un prestigioso científico que recibió ya en 1972 el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus descubrimientos en el campo de la inmunología. Unos años más tarde centró sus investigaciones en el sistema nervioso. En un período de cinco años publica cuatro libros, *Neural Darwinism* (1987), *Topobiology* (1988), *The Remembered Present* (1990) y *Bright Air, Brilliant Fire* (1992), en los que desarrolla su concepción darwinista de la ontogenia y del funcionamiento cerebral y, concretamente en los dos últimos, expone sus opiniones sobre las bases neurobiológicas de la conciencia. La originalidad y brillantez de sus teorías estuvieron a punto de proporcionarle un nuevo Premio Nobel a principios de los noventa. La dificultad para contrastar experimentalmente sus ideas y las críticas recibidas por parte de algunos neurobiólogos como, por ejemplo, el propio Crick, al que no convenía el carácter tan especulativo del darwinismo neuronal, ha frenado por el momento esta posibilidad. Desde entonces, Edelman ha seguido trabajando en estas ideas desde su posición de director del Instituto de Neurociencias de La Jolla en California, lugar donde ha investigado también el coautor del libro, Tononi, otro neurobiólogo de prestigio. El libro se puede considerar una continuación de los dos libros anteriores de Edelman sobre la conciencia, aunque ahora los autores incorporan un elemento nuevo e importante a su teoría: la hipótesis del centro dinámico. Además, el texto, sin ser fácil, ha ganado en sencillez expositiva.

Los fundamentos a partir de los cuales Edelman y Tononi construyen su teoría se encuentran en la arquitectura funcional del cerebro y en la importancia de los procesos selectivos a nivel neuronal para la percepción, la memoria y la formación de conceptos. Desde el punto de vista de la organización funcional, destacan la presencia de tres grandes sistemas. El primero de ellos es el sistema tálamo-cortical, que consiste en una gran red tridimensional de circuitos que conectan recíprocamente el tálamo y la corteza cerebral. El sistema tálamo-cortical se suele dividir en un gran número de áreas con diferentes funciones. En general, la región posterior se encarga principalmente de la percepción, mientras que la zona anterior se destina a la acción y a la planificación. Destaca en su organización lo que Edelman y Tononi denominan *mapas*, que son grupos de neuronas que se conectan recíprocamente con otros grupos vecinos y que están especializados en funciones concretas. Así, por ejemplo, dentro del sistema perceptivo visual hay áreas que se ocupan de responder ante determinados aspectos del estímulo, como la forma o el color, y dentro de estas áreas se pueden distinguir núcleos de neuronas que procesan aspectos muy específicos del estímulo, como pueda ser una determinada orientación en la forma, las líneas curvas o los ángulos rectos.

El segundo de los sistemas está formado por una estructura a modo de gran abanico que nace en un grupo de núcleos neuronales específicos situados en el tronco cerebral y en el hipotálamo. Todos estos núcleos proyectan terminaciones difusas en amplias zonas del cerebro y, por tanto, tienen una influencia potencial sobre miles de millones de sinapsis en prácticamente todas las áreas cerebrales. Están conectados también con el sistema endocrino y con el sistema nervioso autónomo o vegetativo que controlan las funciones viscerales del organismo. Estos núcleos funcionan como *sistemas de valor* que se encargan de introducir cambios en la intensidad de numerosísimas sinapsis, incrementándola o disminuyéndola, como respuesta a los acontecimientos relevantes percibidos por el cerebro.

El tercer sistema conecta mediante haces nerviosos paralelos la corteza cerebral con tres regiones, el cerebelo, los ganglios basales y el hipocampo, las cuales devuelven a su vez la información a la corteza, de manera que se originan bucles de ida y vuelta cuyo significado funcional es diferente en cada región. El cerebelo se encarga preferentemente de la coordinación y sincronía del movimiento, aunque su actividad parece necesaria también en ciertos aspectos del pensamiento y del lenguaje. Los ganglios basales están involucrados en la planificación y en la ejecución de actos cognitivos y motores complejos. Por último, el hipocampo tiene como función principal la de permitir que se transforme la memoria a corto plazo en memoria a largo plazo, capaz de persistir en el tiempo.

En resumen, en el cerebro han evolucionado arquitecturas funcionales distintas para llevar a cabo diferentes actividades cerebrales. Ahora bien, las conexiones en el cerebro sólo están programadas genéticamente hasta cierto punto, existiendo un alto grado de plasticidad. Esta circunstancia le ha servido de inspiración a Edelman para desarrollar su teoría del darwinismo neuronal.

Esta teoría consta de tres principios claves. El primero hace referencia a la selección de grupos neuronales que tiene lugar durante el desarrollo cerebral. Las neuronas extienden aleatoriamente sus axones y sus prolongaciones dendríticas formando complejíssimos árboles sinápticos y un inmenso conjunto de circuitos. Luego, como consecuencia del grado de actividad eléctrica que recorre los mismos, hay sinapsis y circuitos que se potencian mientras otros degeneran, hasta el punto de que en algunas zonas desaparecen hasta el 70% de los grupos neuronales antes de la madurez del individuo. El segundo es un proceso de selección sináptica, inducido por las distintas experiencias conductuales de los individuos, que provoca el fortalecimiento de determinados circuitos frente a otros en los grupos neuronales. Por último, el tercero de los principios es el de la reentrada de señales que se produce entre grupos neuronales distintos como consecuencia de la especial arquitectura funcional que conecta masivamente y de manera recíproca múltiples áreas del cerebro y, sobre todo, las áreas del sistema tálamocortical. Las señales que emite un grupo están condicionadas por las que recibe de otros, y éstas por las que él emite en un proceso simultáneo que discurre en paralelo.

La categorización perceptual, la memoria y la formación de conceptos adquieren un significado especial en el contexto del darwinismo neuronal y son esenciales en el camino hacia la aparición de la conciencia. Cuando visualizamos un objeto, un mecanismo de reentrada permite integrar las señales que procesan los distintos mapas neuronales de la corteza visual, en respuesta por ejemplo al contorno, la forma, el movimiento o el color, generando como resultado la categorización perceptual de dicho objeto. Pero, además, es necesario integrar estos mapas sensoriales que permiten percibir el objeto con los mapas corticales motores, de forma que la categorización perceptual de un objeto no está completa hasta que no se relaciona con la propia posición y movimiento del cuerpo para poder programar una acción, una respuesta corporal.

La memoria depende de un proceso selectivo experiencial que tiene lugar como consecuencia del incremento de la intensidad y de la eficacia sináptica en los circuitos que se activan cuando se produce una categorización perceptual o cuando se activan los núcleos valorativos, situados en el tronco cerebral y en el hipotálamo, que con su acción refuerzan o inhiben dichos contactos. La

memoria no se organiza como un depósito pasivo en el que se almacenan conocimientos y experiencias, sino que es la huella que deja la actividad cerebral experimentada por un individuo, visible en el establecimiento de unos circuitos funcionales y en la desaparición de otros. Pero es una huella dinámica que se construye cada vez que se produce la categorización perceptual de un objeto y cada vez que lo recordamos. La memoria se contempla como una recategorización que tiene lugar sobre categorizaciones previas, lo cual implica modificaciones en los circuitos utilizados anteriormente. El sistema generador de valores permite además que la memoria vaya acompañada de capacidad para el aprendizaje, ya que, para poder aprender, el cerebro tiene que ser capaz de preferir unos estímulos sobre otros.

Los conceptos, para Edelman y Tononi, no son categorías lingüísticas: son anteriores a la aparición del lenguaje y surgen gracias a la capacidad cortical para combinar diferentes categorizaciones perceptuales relativas a una escena o a un objeto y para elaborar con todas ellas una abstracción basada en la identificación de determinados rasgos que tienen en común dichas percepciones. Por ejemplo, diferentes caras tienen rasgos distintos, pero todas ellas comparten un aspecto similar que permite identificarlas como tales. La formación de conceptos –por ejemplo, el de cara o el de banana– exige que el cerebro disponga de mapas neuronales de segundo orden que integren la actividad que se genera en los mapas globales de primer orden relativos a la percepción de esos objetos. Los mapas de segundo orden se encuentran en áreas frontales, temporales y parietales de la corteza y pueden activarse por los recuerdos, en ausencia de estímulos sensoriales externos. Además, estos mapas se ven modificados por las respuestas valorativas y emocionales que se originan durante el proceso de categorización conceptual. Se constituye así un nuevo sistema dinámico de memoria que liga conceptos con valores y que, junto con las capacidades anteriores, va a permitir la experiencia consciente.

LA HIPÓTESIS DEL CENTRO DINÁMICO

Edelman y Tononi distinguen dos modalidades de experiencia consciente: la *conciencia primaria*, que surgió antes filogenéticamente y está presente en otras especies animales además de en la nuestra; y la *conciencia de orden superior*, que sólo la poseen los seres humanos. La conciencia primaria surgió en la evolución, según los autores, gracias al desarrollo de conexiones que permiten al cerebro integrar en una escena ordenada un conjunto de categorizaciones perceptuales. Esta capacidad para construir una escena permite relacionar los acontecimientos que han tenido relevancia durante el aprendizaje de un organismo con los acontecimientos que está experimentando en la actualidad, pero sin que el organismo necesite una memoria a largo plazo que proporcione una noción del tiempo pasado o del futuro. La conciencia primaria es una especie de *presente recordado*. Esto significa que la importancia de un suceso se define a partir no sólo de su relevancia objetiva en el mundo físico, sino también por el valor relativo que le han otorgado al suceso las emociones durante percepciones pasadas.

Un ejemplo que encontramos en el libro de Damasio puede servirnos para ilustrar en qué consiste esta experiencia del *presente recordado* que proporciona la conciencia primaria. David es un paciente

de Damasio que tiene una incapacidad absoluta para aprender y memorizar cualquier rostro, lugar, palabra o sonido nuevo, de manera persistente, más allá de unos segundos. El problema de David es que tiene dañados los lóbulos temporales y con ellos el hipocampo, responsable de la consolidación de los recuerdos en la memoria a largo plazo. David no puede, por tanto, reconocer a personas nuevas, ni recordar el lugar o las circunstancias, agradables o desagradables, en las que se produjo el encuentro. Los enfermos como David sólo tienen en su memoria a largo plazo los sucesos anteriores a su trastorno neurológico. Damasio y sus colaboradores se dieron cuenta de que, aunque no podía recordar a ningún individuo, David era capaz de manifestar preferencias por algunas personas cuando volvía a encontrarlas. Para investigar esta circunstancia, se diseñó un experimento en el que David interactuó durante una semana con tres cuidadores distintos: uno *bueno*, de trato amable, con el que llevó a cabo tareas agradables; otro *malo*, de trato brusco, con el que realizó tareas tediosas; y otro neutro, de trato correcto sin más. Al final de la semana se le mostraron a David series de cuatro fotografías de diferentes personas entre las que estaba presente siempre uno de los tres cuidadores. David afirmaba siempre que no conocía a ninguna de las personas, pero cuando se le obligaba a escoger eligió el 80% de las veces al cuidador bueno, el 25% al neutro -lo esperado por azar- y casi nunca a la guapa neuropsicóloga que había actuado de cuidador malo, a pesar de su contrastado interés por el sexo femenino. También se le presentaron series con las fotografías de los tres cuidadores sin que David reconociese a ninguno pero, de nuevo, si se le obligaba a elegir prefería siempre al bueno. Aunque David no era consciente de las causas, su cerebro podía, gracias a los núcleos valorativos del tronco cerebral y del hipotálamo que conservaba intactos, mostrar preferencias al percibir las fotos en función del valor emocional de los encuentros previos. Podía percibir el presente aprovechando la experiencia pasada, aunque fuera incapaz de proporcionar una explicación consistente de su preferencia.

Edelman y Tononi señalan que la integración, la unidad de la experiencia consciente, se consigue gracias a los mecanismos de reentrada que ligan durante unos cientos de milisegundos la actividad de muchos grupos neuronales. Es lo que denominan *hipótesis del centro dinámico*. El grado de diferenciación de una experiencia consciente depende del número y de los tipos específicos de grupos neuronales que estén implicados en la misma. La definición de centro dinámico lleva implícita la consideración de la conciencia como un proceso que es continuo, pero cambiante en fracciones de segundo como respuesta a los cambios de composición y de actividad que experimenta el propio centro dinámico.

La conciencia primaria así definida posiblemente esté presente en mamíferos y en aves y su aparición puede situarse en la transición desde los reptiles hacia estas dos clases de animales hace unos trescientos millones de años. Sin embargo, un animal con conciencia primaria no posee un sentido auténtico del yo, no posee conciencia de sí mismo. Sus experiencias conscientes le permiten construir el presente teniendo en cuenta su experiencia pasada, el *presente recordado*, pero carece de los conceptos de pasado y de futuro. Para Edelman y Tononi, la autoconciencia y el sentido del pasado y del futuro requirieron el desarrollo de lo que denominan conciencia de orden superior, que surgió en la evolución durante el proceso de hominización y que fue unido al desarrollo del lenguaje.

La conciencia de orden superior necesitó el desarrollo de un nuevo tipo de memoria simbólica y de nuevos sistemas cerebrales implicados en conseguir una mejora de los sistemas de comunicación social, cuyo rudimento parece que podemos encontrar en los chimpancés y cuya máxima expresión es el lenguaje humano. Fue preciso también el desarrollo de conexiones de reentrada que conectaron los centros conceptuales responsables de la conciencia primaria con los centros donde se localiza esta nueva memoria simbólica, concretamente las áreas de Broca y Wernike. De esta interacción surge el concepto del yo autoconsciente y el anclaje de las experiencias conscientes en un marco temporal con pasado y futuro.

En conclusión cabe decir que la conciencia está asociada con una actividad neuronal que no está localizada en una única área cerebral, sino dispersa en el sistema tálamo-cortical y sus regiones asociadas, que para que exista experiencia consciente, muchos grupos de neuronas deben actuar de forma rápida y recíproca en el proceso denominado reentrada y, por último, que la actividad de estos grupos neuronales deben mantenerse diferenciados. Es imposible resumir por cuestiones de espacio otros aspectos del libro de Edelman y Tononi, así como las diferentes propuestas de investigación que sugieren para poner a prueba la validez de su teoría. Con independencia de la suerte final que corran sus propuestas, es obligado reconocer el mérito de los autores en su ambicioso intento de elaborar una teoría global sobre cómo emerge la conciencia, y muy en particular de Edelman, auténtico pionero en este terreno. Lamentablemente, que nosotros conozcamos, no se ha traducido hasta el momento ninguno de sus libros al castellano.

SENTIR LO QUE NOS PASA

Antonio Damasio, autor del segundo de los libros que comentamos, nació en Portugal, país en el que estudió y obtuvo el doctorado en medicina, pero ha realizado la mayor parte de su trabajo investigador en Estados Unidos. En la actualidad, dirige el Departamento de Neurología en la Facultad de Medicina de la Universidad de Iowa y es profesor adjunto en el Instituto Salk en La Jolla, California. Desde hace unos años, está interesado en el estudio de la función que desempeñan las emociones en el organismo y en el influjo que éstas ejercen sobre actividades mentales complejas, como el razonamiento o la conciencia. En 1994 publicó su libro *El error de Descartes*, en el que defiende su tesis, conocida como hipótesis del marcador somático, de que la capacidad de razonar no puede funcionar correctamente sin la parte emocional del cerebro, la parte encargada de generar las motivaciones y los valores que constituyen el sustrato desde el que se razona. La importancia que le otorga Damasio a las estructuras cerebrales que engendran los valores le aproxima a Edelman en su análisis de la conciencia, aunque su propuesta tiene puntos bien diferenciados.

El planteamiento de partida en su nuevo libro, *La sensación de lo que ocurre*, consiste en dividir el problema de la conciencia en dos partes. La primera se refiere a cómo la mente es capaz de elaborar una composición unificada e integrada de las distintas imágenes sensoriales –visual, auditiva, táctil y otras– que formamos cuando interaccionamos con el mundo exterior. Es decir, se trata de analizar cómo se genera lo que Damasio llama, de modo metafórico, la película en el cerebro, el espectáculo multimedia de nuestra mente. La segunda se refiere a la génesis en el cerebro del sentido del yo,

como propietario y observador de esa película. Damasio sostiene que la primera parte del problema, sin estar resuelta por la neurobiología, ha experimentado avances tan notables en la última década que es mayoritaria entre los científicos y filósofos la corriente que considera factible que, más pronto que tarde, se puedan identificar las bases neuronales que dan lugar a la película en el cerebro. Por el contrario, el escepticismo es mucho mayor cuando nos referimos a la posibilidad de descubrir las bases cerebrales que hacen posible la emergencia del yo.

Damasio rastrea los orígenes del yo mediante un enfoque evolutivo de las principales funciones que lleva a cabo el sistema nervioso. Podemos resumir estas funciones en dos, que a su vez están interrelacionadas: la primera, elaborar una imagen del estado interno del organismo que permita activar los mecanismos reguladores encargados de mantener el medio interno en condiciones adecuadas para la vida; y la segunda, elaborar una imagen del mundo exterior que permita programar la actividad motora que necesita el organismo para sobrevivir y reproducirse. El gran fisiólogo francés del siglo XIX Claude Bernard fue el creador del concepto de medio interno, concepto a partir del cual se puede describir la actividad de los órganos y sistemas de un organismo pluricelular desde el punto de vista de su contribución funcional a la homeostasis o mantenimiento estable del mismo. El sistema nervioso desempeña un papel central en la homeostasis, detectando qué cambios experimenta el medio interno, por ejemplo, en el grado de acidez -pH-, en la concentración de glucosa o en la presión parcial de CO₂ y regulando la actividad de órganos y aparatos con el fin de volver a los valores normales, en un proceso de retroalimentación similar al que existe en un termostato. Damasio denomina *proto-yo*¹ a la colección coherente de pautas neurales que representan, momento a momento, el estado de la estructura física del organismo en sus muchas dimensiones. Los receptores de la musculatura esquelética y, sobre todo, los del tacto contribuyen también a la segunda función del sistema nervioso, la de informar al organismo sobre lo que acontece en el mundo exterior para que pueda actuar en consonancia. El sistema tálamo-cortical, utilizando la información que proporcionan los sentidos, permite la categorización perceptual de objetos y programa la actividad motora. Como ya hemos indicado, la percepción de un objeto cualquiera implica una alteración del estado corporal que activa los sistemas valorativos del cerebro que, a su vez, activan la memoria y hacen posible el aprendizaje y la categorización conceptual. Se trata de que el organismo sea capaz de elaborar una respuesta motora adaptativa al percibir un cambio en el medio externo. La respuesta más sencilla y más antigua filogenéticamente consiste en las acciones reflejas y en los procesos automáticos de regulación metabólica.

El siguiente paso en la evolución fue la génesis de emociones, esto es, de respuestas complejas y estereotipadas, tanto químicas como neurales, cuya función es, por una parte, producir una reacción específica del organismo ante la situación inductora y, por otra, regular su estado interno para que pueda llevar a cabo dicha reacción. El impacto de las emociones sobre el organismo puede llegar a ser muy intenso: baste pensar en la alteración que experimentamos cuando nos llevamos un buen susto o una gran alegría. Los cambios internos que se producen son reflejados momento a momento en las estructuras que generan el *proto-yo*. Damasio sostiene que, durante el proceso evolutivo, han surgido en ciertas regiones cerebrales la capacidad de hacer representaciones de segundo orden que

reflejan los cambios que experimenta el *proto-yo* cuando el organismo reacciona y se altera como consecuencia de su interacción con el mundo exterior. Para Damasio, el sentido del yo proviene precisamente de esta representación neuronal de segundo orden que refleja los cambios del *proto-yo*. Surge así lo que el autor denomina el *yo-central*, del que sí somos conscientes y que se dispara ante la percepción de cualquier objeto. Las estructuras implicadas en esta representación de segundo orden podrían ser la corteza cingulada y el tálamo, y quizá también algunas áreas de la corteza prefrontal.

Damasio distingue, al igual que hacen Edelman y Tononi, dos niveles de conciencia y, en su caso, dos tipos de yo. La *conciencia central*, que está acompañada del *yo-central*, y la *conciencia ampliada*, a la que le corresponde el denominado *yo-autobiográfico*. La conciencia central se da cuando los dispositivos de representación de segundo orden producen un informe no verbal y en forma de imágenes de cómo se ve afectado el estado del organismo por el procesado que el organismo efectúa de un objeto y, como consecuencia de ello, se resalta la propia imagen del objeto causante de la alteración del *proto-yo*, situándolo de manera destacada en un contexto espacial y temporal. El alcance de la conciencia central es el aquí y el ahora. No existe otro lugar, no hay antes ni hay después, no hay concepto de pasado ni de futuro.

La sensación del yo proviene de la percepción del cambio que experimenta el organismo al percibir el objeto. En otras palabras, el sentido del yo en el acto de conocer emerge como un tipo especial de sentimiento, el sentimiento de lo que sucede en un organismo durante el momento que interactúa con un objeto. Nótese que la alteración del *proto-yo* puede desencadenarla también el recuerdo de un objeto, aunque no se esté percibiendo directamente en dicho instante. Cuanto más intensos sean los cambios que experimenta el organismo, más fácil será recordar en un futuro tanto el objeto como la emoción, favorable o desfavorable, que indujo dicho objeto, es decir, su valor. En un organismo como el humano, dotado de grandes capacidades memorísticas, se va configurando una memoria con las experiencias que proporciona la conciencia central. Surge así el *yoautobiográfico*, basado en los registros permanentes de las experiencias del *yo-central*. Estos registros son modificables, al menos en parte, por nuevas experiencias y pueden recuperarse, activándose en forma de pautas neurales, de manera que den lugar a imágenes explícitas que son percibidas por la conciencia central. Es decir, los recuerdos autobiográficos son procesados como si fuesen objetos y, por ello, pueden condicionar la respuesta del organismo en el acto de percibir un objeto real.

Damasio denomina conciencia ampliada a la activación de la conciencia central producida por un objeto y por los recuerdos autobiográficos que se recuperan durante esa percepción. La conciencia ampliada exige disponer de estructuras cerebrales responsables de la memoria a largo plazo y de la memoria de trabajo. La conciencia ampliada proporciona al organismo un sentido del tiempo histórico, consciente del pasado vivido y capaz de anticipar el futuro, y le permite conocer mejor el entorno aprovechando las experiencias previas. David, el paciente ya referido de Damasio incapaz de memorizar, tenía intacta la conciencia central, pero no podía incorporar nuevos datos a su *yo-autobiográfico* y, por ello, estaba muy restringido el acceso a la conciencia ampliada.

La conciencia ampliada y el *yo autobiográfico* sólo se dan en organismos con una capacidad memorística sustancial y una cierta capacidad de raciocinio, pero no requieren la presencia del lenguaje. Para Damasio, los chimpancés, y posiblemente otros mamíferos, poseen conciencia ampliada y sentido autobiográfico del yo. Evidentemente, esta capacidad alcanza su cima en el ser humano con el desarrollo del lenguaje y el incremento de la capacidad memorística y racional. Los dos niveles de conciencia que distingue Damasio no son del todo incompatibles con los dos niveles que proponen Edelman y Tononi: de hecho, se podrían intercalar entre uno y otro. Forzando un poco las definiciones, se podría construir la secuencia tal como pudo surgir en la evolución: la conciencia primaria, que permite la categorización perceptual de un objeto en un organismo con *proto-yo*, pero sin un sentido consciente del yo; la conciencia central; la conciencia ampliada; y, finalmente, la conciencia de orden superior, que exige la presencia del lenguaje.

DE LAS NEURONAS AL YO

Rodolfo Llinás estudió medicina en Colombia, su tierra natal, y se doctoró en Australia. En la actualidad es un neurobiólogo de gran prestigio, catedrático de Neurociencia, y director del Departamento de Fisiología y Neurociencia de la Facultad de Medicina de la Universidad de Nueva York. El libro que comentamos, *I of the Vortex*, recoge su teoría sobre la conciencia, gestada a lo largo de los últimos años y cuyo sustrato neurológico es el diálogo que se produce entre el tálamo y la corteza cerebral. Su aproximación al tema, aunque comparte los rasgos comunes señalados en la parte inicial de este trabajo, difiere en algunos aspectos de las dos anteriores.

La primera gran diferencia se encuentra en que Llinás considera el control de la motricidad de los organismos como el factor fundamental que ha condicionado la evolución del sistema nervioso y, en último término, la evolución de la conciencia. Llinás ilustra esta tesis a partir del comportamiento de un animal sencillo, la ascidia, que representa las primeras formas de cordados, de las que surgirían los vertebrados. Las ascidias poseen un cordón nervioso, formado por un único ganglio de sólo unas trescientas neuronas, durante su etapa de larva. Posteriormente, la larva sufre una metamorfosis y se transforma en una ascidia adulta que pierde su movilidad y se fija a una roca o similar. Durante esta metamorfosis se reabsorbe el cordón nervioso, lo cual parece una adaptación a la vida sedentaria que no precisa de un sistema nervioso como muestran las plantas y los hongos. Llinás considera que dirigir los movimientos del organismo es la función primordial del sistema nervioso, lo que exige su presencia en un organismo y lleva esta idea hasta sus últimas consecuencias afirmando que los estados mentales tienen como función básica la predicción de los resultados de cada movimiento corporal. Para hacer esto, el organismo ha de crear una imagen interna en tiempo real del ambiente en el que se tiene que desplazar y, mediante la misma, ha de predecir el resultado probable de sus acciones. A medida que se incrementó la complejidad de las estrategias de movimiento de los organismos, se produjo también un incremento en la capacidad predictiva del sistema nervioso que condujo hasta la mente consciente. En este sentido, Llinás define la capacidad de pensar como la internalización evolutiva del movimiento y la emergencia del yo como un proceso de centralización de la predicción.

Una segunda diferencia se centra en la explicación de cómo surgen los estados mentales en el cerebro. Llinás defiende, siguiendo a Graham Brown, y frente al paradigma clásico en psicología que considera que el sistema nervioso es un sistema cuya función primaria es manipular la información procedente del mundo exterior, que el estado básico del cerebro es el que manifiesta cuando se activa intrínsecamente, en ausencia de estímulos sensoriales, como sucede en los sueños. El papel de las señales sensoriales externas que procesamos cuando estamos conscientes no es crear la actividad mental, sino limitarla, orientarla para que se produzca un ajuste adecuado entre la actividad mental y la realidad exterior. El pensamiento surge por la modificación de la realidad virtual que genera espontáneamente el cerebro.

El control cerebral de la conducta se consigue utilizando lo que Llinás llama patrones de acción fijos (FAP). Son respuestas motoras bastante estereotipadas que constituyen lo que se ha denominado comportamiento instintivo o innato, como la respuesta de huida en muchas especies animales o los movimientos necesarios para caminar en la nuestra. Llinás considera las emociones como desencadenantes de los FAP que a su vez pueden disparar otros patrones de conducta más específicos. Además, los patrones de acción pueden ser modificados por la experiencia, perfeccionarse y ser recordados. La presencia de los FAP facilita la acción del cerebro, ya que en muchos casos su actividad se limita a escoger, ayudado por las emociones y la memoria, qué FAP ha de poner en juego en un momento dado como, por ejemplo, luchar o escapar. Incluso el desarrollo del lenguaje puede ser considerado el resultado de la capacidad de nuestro cerebro para incrementar la sofisticación de los movimientos y de las acciones con un propósito definido, modificando y reconduciendo los FAP existentes.

La última diferencia notable que se encuentra entre la teoría de Llinás y las de Damasio, Edelman y Tononi, es la importancia que concede Llinás a la sincronización temporal, por causas intrínsecas, de la actividad neuronal en los procesos de elaboración unificada de las imágenes y de la propia sensación de ser consciente. Llinás ha sido pionero en el análisis de la actividad espontánea de los centros nerviosos con independencia de los estímulos exteriores. Algunas neuronas de los centros nerviosos pueden producir un impulso nervioso de manera rítmica y espontánea. La actividad mental se produce en el cerebro por la comunicación sináptica entre las neuronas y, sobre todo, por la sincronización de descargas eléctricas periódicas que se producen en grupos de neuronas distantes entre sí, pero que oscilan en fase. Llinás y sus colaboradores descubrieron la presencia en el sistema tálamo-cortical de una onda de oscilación de una frecuencia de 40 Hz (40 ciclos por segundo) que sincroniza la actividad de muchas áreas de la corteza cerebral con la actividad de los núcleos talámicos. Los impulsos sensoriales externos recibidos al interactuar con un objeto son procesados en paralelo en múltiples áreas sensoriales, pero son coordinados con la onda de barrido de 40 Hz que recorre la corteza, de manera que se integran en una imagen única gracias a la sincronización temporal de todo el proceso.

La unificación es en el tiempo, no en el espacio, y se produce de manera discontinua, pero tan rápida que nos parece continua como al visualizar la proyección de una película. Llinás denomina «cuanto»

de conciencia a cada una de estas imágenes que surgen en el sistema tálamo-cortical. Este sistema pone en relación sincrónica las propiedades del mundo externo recibidas por los sentidos con las memorias y motivaciones generadas internamente. Para Llinás, el yo es el estado mental que se genera durante este proceso que liga, en una composición única, los componentes fracturados de la realidad externa e interna.

RESUMEN Y VALORACIÓN FINAL

Nos encontramos ante tres notables intentos de construir, a partir de la evidencia neurobiológica disponible, una teoría sobre la evolución y el desarrollo de la conciencia. El estado actual del conocimiento en neurociencia y la magnitud del empeño nos obliga a ser prudentes a la hora de valorar los resultados. No obstante, hay datos suficientes para pensar que en un plazo de tiempo razonable los neurobiólogos serán capaces de elaborar un modelo contrastado sobre los procesos implicados en la percepción, los sentimientos, el pensamiento y la conciencia. Ahora bien, recordemos que esto nos permitirá comprender cómo se producen las sensaciones, los *qualia*, pero no experimentarlos ni saber con certeza si lo que una persona siente ante el color rojo es lo mismo que experimenta otra. Nunca se podrá acceder a la subjetividad de otro.

Las tres teorías tienen muchos puntos en común y son en buena medida compatibles. Las similitudes nos hablan de los puntos mejor establecidos como, por ejemplo, la importancia decisiva del sistema tálamo-cortical en la integración de las imágenes y en la génesis del yo, la necesidad de un mecanismo que permita la activación coordinada de grupos de neuronas distribuidos en áreas separadas, o la importancia de ligar la información interna, emocional, con la procedente del mundo exterior. En este momento resulta prematuro tener que optar por la hipótesis del centro dinámico de Edelman y Tononi o por las ondas de 40 Hz de Llinás como mecanismos responsables de la integración. De hecho podrían ser las dos ciertas, ya que hasta cierto punto son complementarias, o las dos falsas. Hay que seguir investigando y proponer nuevos mecanismos hasta que las pruebas experimentales permitan optar por una respuesta.

Desde una perspectiva evolutiva será necesario investigar con más detalle la historia filogenética de las estructuras cerebrales implicadas en las actividades mentales. Se echa de menos también una discusión en profundidad sobre las presiones de selección que han ido modelando este proceso evolutivo. Sin duda, el control del movimiento, de la acción, ha desempeñado un papel esencial en el desarrollo del sistema nervioso como afirma Llinás, pero también es cierto que el incremento de la complejidad anatómica y funcional de los organismos ha exigido un sistema de coordinación de la actividad fisiológica interna para garantizar la homeostasis. La evolución de las actividades mentales más complejas requirió la presencia de estructuras valorativas que dotan de valor a las percepciones y a los cambios del medio interno, y que permiten correlacionar unos con otros haciendo posible la memoria y el aprendizaje. La posibilidad de aprender ejerció una presión de selección en favor de la capacidad de abstracción, de formar conceptos no verbales, abriendo la puerta a la conciencia. Los autores de este comentario hemos sugerido que la aparición del concepto no verbal de bueno y malo, basado en los sentimientos que generan las estructuras valorativas, permitió la transmisión cultural

activa de lo aprendido y que esta transmisión ha sido el factor clave que condicionó el extraordinario desarrollo intelectual y la aparición del lenguaje durante la hominización².

Estamos lejos todavía de resolver el misterio de la conciencia, pero en nuestra opinión el camino más prometedor, la auténtica esperanza de resolverlo, proviene del campo neurobiológico. El avance científico y tecnológico que ha tenido lugar en el último siglo permite pensar que en un futuro se podrán construir robots dotados de conciencia, pero es casi seguro que esto sólo ocurrirá si, previamente, llegamos a comprender la base neurobiológica de cómo la materia se ha transformado en sentimientos, en imaginación.

¹. El traductor utiliza la palabra *ser* como equivalente de la palabra inglesa *self*, lo cual transforma las categorías fundamentales que crea Damasio, el proto-yo, el yo-central o el yo-autobiográfico, en otras de menos fuerza expresiva y significado menos claro como el proto-ser, el ser-central y el ser-autobiográfico. Tampoco resulta apropiado, a nuestro juicio, el uso casi exclusivo de la palabra sensación para traducir la palabra inglesa *feeling*, sin tener en cuenta la posibilidad de utilizar la palabra sentimiento en función del contexto y previa explicación al lector. Esto le hace perder fuerza y precisión al libro.

². Véanse, por ejemplo, nuestros artículos: a) «Human Evolution and the Conceptual Capacity to Categorize». *Journal of Social and Evolutionary Systems*, vol. 18: 55-66, 1995. b) «The Long and Winding Road to the Ethical Capacity». *History and Philosophy of the Life Sciences*, vol. 20: 47-62, 1998.