



Ilustraciones: Pedro García y Verónica Cantú

El camino a las PERCEPCIONES

Verónica Guerrero Mothelet

Los hallazgos sobre el funcionamiento del cerebro de un grupo de investigación del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM, encabezado por el Dr. Ranulfo Romo.

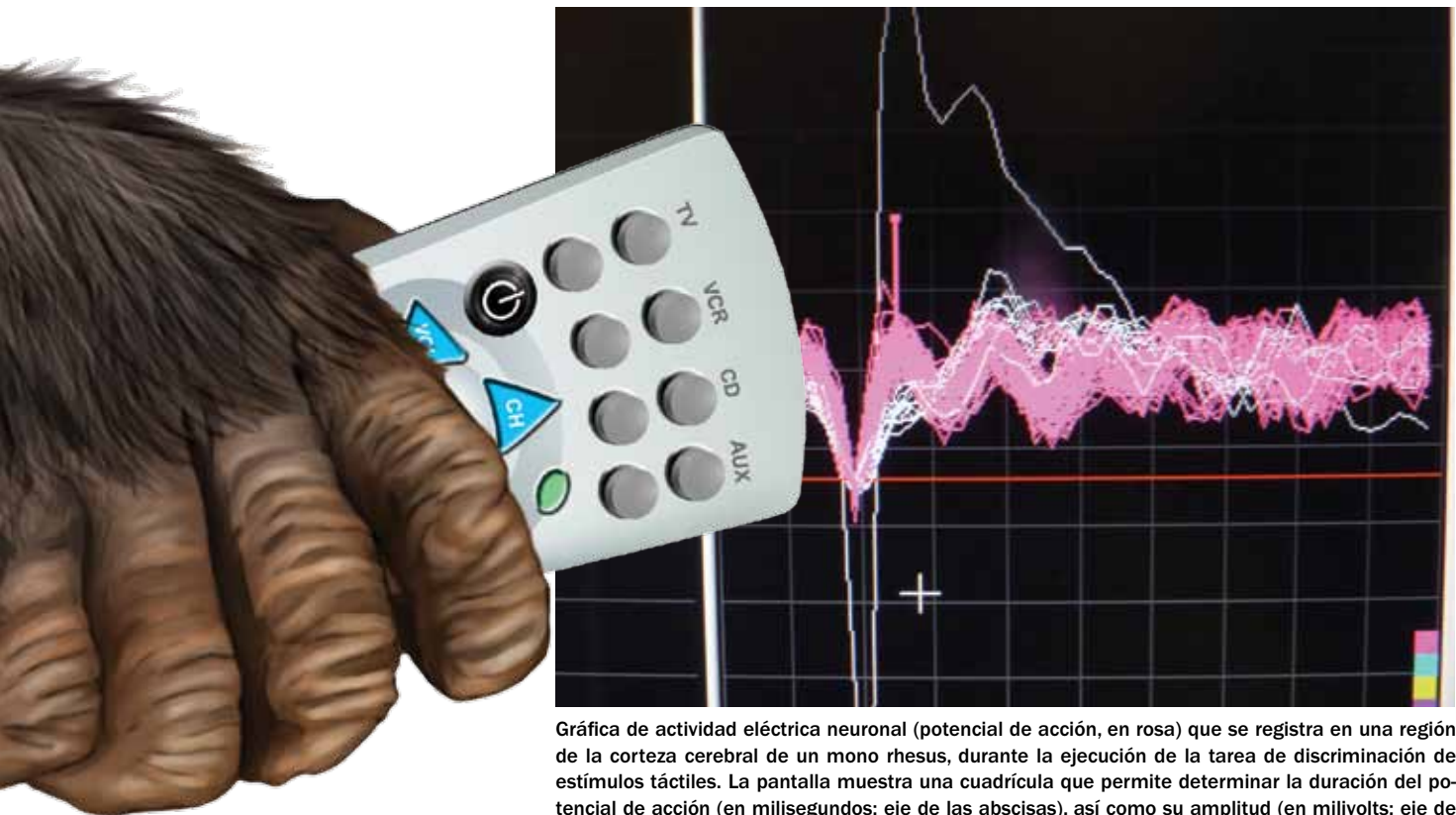


Fotos: Arturo Orta

Aspecto del sistema de registro del laboratorio del Dr. Romo. En la parte superior se observan un par de osciloscopios, que son instrumentos de medición que permiten cuantificar la actividad eléctrica de las neuronas. En la parte inferior un investigador ajusta un sistema de filtros electrónicos para poder obtener de manera clara y confiable, la señal eléctrica de las neuronas (potencial de acción).

Cuando vemos una película, estamos atentos a las palabras y expresiones de los actores, pero también nos percatamos de quién está sentado a nuestro lado, así como del olor y sabor de las palomitas y el roce de la mano de nuestro acompañante... Todo al mismo tiempo. Estamos percibiendo una variedad de estímulos que los órganos de los sentidos van a convertir en señales neuronales. Estas señales se transmiten al cerebro, el cual las procesa dando como resultado una recreación o representación mental.

¿Cómo logra nuestro cerebro convertir cada estímulo sensorial simple en toda una experiencia? Esta pregunta es uno de los enigmas de la percepción. Otro, igualmente importante, es cómo produce nuestro cerebro una representación del mundo externo a partir de la actividad de las neuronas y qué es la conciencia desde el punto de vista neurológico.



Gráfica de actividad eléctrica neuronal (potencial de acción, en rosa) que se registra en una región de la corteza cerebral de un mono rhesus, durante la ejecución de la tarea de discriminación de estímulos táctiles. La pantalla muestra una cuadrícula que permite determinar la duración del potencial de acción (en milisegundos; eje de las abscisas), así como su amplitud (en milivolts; eje de las ordenadas). De esta manera, se puede aislar la actividad de una sola neurona y cuantificar los cambios que ocurren cuando el mono está realizando la tarea. Las líneas blancas señalan la presencia de otra neurona, cuya actividad no está asociada a la tarea.

A descifrar esos misterios se han dedicado el Dr. Ranulfo Romo y sus colaboradores en el Instituto de Fisiología Celular (IFC) de la UNAM. Este equipo realiza experimentos con primates para comprender cómo surgen las experiencias sensoriales a partir de la actividad de distintos circuitos del cerebro. En su laboratorio se emplea como modelo a monos rhesus, porque son primates que tienen los mismos órganos sensoriales, las mismas vías de transmisión de la información y los mismos circuitos cerebrales esenciales para procesarla que los humanos.

Neuronas activadas

El doctor Romo explica que las neuronas que forman el cerebro son procesadoras de información. Cuando vemos un objeto, tocamos algo con las manos o escuchamos sonidos o palabras, las neuronas se activan como respuesta a esos estímulos. Esta activación puede registrarse con aparatos, en forma de actividad eléctrica.

Pero, ¿cómo saber si esa activación neuronal realmente tiene que ver con la representación de los estímulos en el

cerebro y si dicha representación le sirve a éste para generar una percepción? Para averiguarlo Romo y sus colaboradores localizaron neuronas en una zona precisa del cerebro de los monos y las activaron artificialmente con una corriente eléctrica. Como resultado encontraron que los monos exhibían sensaciones y percepciones muy similares a las que exhibirían al recibir estímulos naturales.

“Esto es muy bonito”, dice Romo, “porque es la primera vez que se prueba la utilidad de una representación para procesamientos mucho más finos que suceden después, tal como el almacenamiento de la información”. Y es que para que el cerebro pueda generar la percepción de un estímulo, necesita almacenar la información sensorial. Tras buscar adónde se dirige esta información, los investigadores del IFC descubrieron que se guarda en la *memoria de trabajo*; ésta es una memoria que se usa continuamente, durante periodos muy cortos, para dar sentido a las experiencias. Aunque los científicos pensaban que encontrarían algo mucho más abstracto, “para nuestra sorpresa lo que vimos fue que las

características del estímulo percibido se almacenan prácticamente de manera similar a como se representan en las etapas tempranas”, señaló el Dr. Romo. Es decir que durante el periodo de memorización el cerebro se las arregla para representar la información de forma casi igual a como la recibió. Este hallazgo permitió a los investigadores estudiar las bases biofísicas de la memoria: cómo retienen información los circuitos neuronales durante periodos cortos.

Pero el asunto no termina allí, pues además de percibir y almacenar información, la utilizamos para dar cuenta de lo que percibimos. Por ello el Dr. Romo y su equipo diseñaron experimentos en los que entrenan a sus monos para que reporten sus percepciones por medio de decisiones, como oprimir o no un botón. En esa situación el cerebro combina la información almacenada en la memoria de trabajo con la información que ingresa por alguno de los órganos de los sentidos a determinados circuitos neuronales. A partir de esa combinación, el mono toma una decisión que se traduce en el movimiento voluntario de oprimir el botón.

Así han conseguido observar prácticamente todos los eventos que se producen en diferentes circuitos del cerebro a partir de un estímulo, y que representan la información sensorial; cómo se guarda ésta en la memoria y cómo se combina para tomar una decisión. Además, han descubierto cuáles son los circuitos cerebrales correspondientes al sistema motor, que se relacionan con actos intencionales, surgidos de una decisión.

Trabajo de espías

En sus experimentos Romo y sus colaboradores entrenan primero a los monos rhesus para que realicen ciertas tareas muy sencillas en las que deben aprender a identificar o discriminar estímulos; “en este caso son estímulos somestésicos

■ Estímulo y neurona ■

Actualmente el grupo de Ranulfo Romo en el Instituto de Fisiología Celular de la UNAM, realiza un experimento que incluye estímulos auditivos y táctiles, en forma independiente y en combinación. El investigador José Vergara nos describió el procedimiento:

“Se colocaron siete microelectrodos —más delgados que un cabello— sobre la corteza cerebral de un mono rhesus en una región de entrada de estímulos donde convergen tanto la zona somestésica (táctil) como la auditiva”. En una pantalla se puede observar la actividad neuronal detectada por los electrodos, mientras el mono realiza tareas de discriminación de estímulos: oprime botones al percibir determinado estímulo y es recompensado con jugo de fruta.

Al ver registros de la actividad neuronal, los investigadores pueden asociarla con alguno de los eventos. Si la neurona responde cuando existe el estímulo, está codificando información sensorial. Si responde en el periodo entre estímulos, significa que el animal debe estar recordando la intensidad del primer estímulo para compararlo con el segundo cuando llegue. Una vez que llega este segundo estímulo, su actividad neuronal se relaciona con la decisión que toma; es decir, el movimiento de su mano al presionar el botón.

Las diferentes pruebas permiten que los científicos vean la respuesta a estímulos táctiles y auditivos incluso de neuronas individuales. Los datos arrojados se van guardando en la computadora para su posterior análisis matemático.

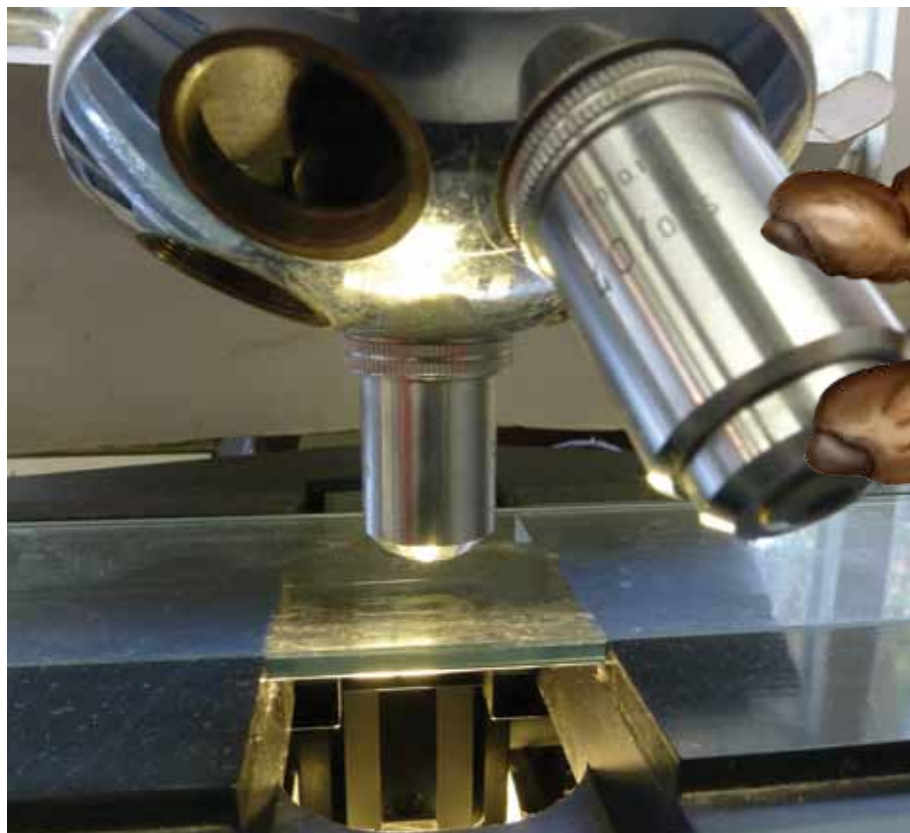
(táctiles)”, indica el doctor Antonio Zainos: una vibración indolora en la punta de los dedos del animal. Zainos agrega que utilizan el sistema somatosensorial o táctil porque ya se conoce muy bien tanto en primates como en humanos.

Una vez que los monos aprenden a ejecutar esas tareas, les ponen microelectrodos para observar la actividad de su sistema nervioso y cómo cambia éste en relación con cada tarea que desempeñan. “Mediante los microelectrodos ‘espiamos’ qué dicen las neuronas, cuál es su lenguaje mientras el animal hace algo como memorizar, tomar decisiones o percibir. Eso nos permite estudiar cómo funciona nuestro cerebro de manera básica”, explica Verónica Nacher, otra colaboradora de Romo.


La percepción es un fenómeno que ocurre muy rápido, por ello estos investigadores no utilizan técnicas de imágenes cerebrales como la resonancia magnética, que requieren más tiempo y no son adecuadas para detectar la actividad de neuronas individuales, sino los microelectrodos que sí permiten observar. Así “medimos directamente la actividad neuronal y los potenciales de acción (impulsos eléctricos)

que son cambios muy rápidos y se detectan en el instante en que ocurren”, refiere Zainos. Luego de registrar los cambios de varias neuronas, reúnen esta información para conocer la actividad de una población neuronal. Después de terminar todos los experimentos, reconstruyen la información obtenida de esas poblaciones de neuronas y la agrupan para armar un panorama más global.

En general los monos realizan varias tareas: de detección, de discriminación y de decisión. La primera consiste precisamente en detectar si un estímulo fue o no aplicado. En la tarea de discriminación tienen que juzgar la intensidad o la cantidad de los estímulos. “Por ejemplo, cuando se aplican dos estímulos, el primero más fuerte que el segundo, el mono los detecta y luego discrimina entre ambos niveles de intensidad”, señala el doctor Zainos. Aquí entra en funcio-



A través de la observación con microscopio se determinan las características de las puntas de los microelectrodos.



namiento la memoria que recuerda ambos estímulos para poder compararlos. Una vez hecha esa evaluación, el mono toma la decisión de oprimir o no un botón, lo que en este caso es la respuesta motora.

El registro de la actividad neuronal puede relacionarse con los diferentes segmentos de la tarea, por lo que es posible observar si una actividad neuronal determinada abarca toda la tarea o es específica a una parte de ésta, como la toma de decisiones. Al descifrar cómo trabajan los circuitos cerebrales, se puede “leer” la actividad de las neuronas asociadas con la intención de hacer algo, y

eso es lo que ha demostrado el equipo de Romo. “En general se observan diferencias porque son actividades distintas que pueden realizarse en diferentes regiones de la corteza cerebral”, indica Antonio Zainos. De este modo los investigadores han conseguido formar un mapa del recorrido del estímulo desde su entrada hasta su salida, pasando por zonas intermedias.

¿Leer la mente?

Tanto la identificación de las neuronas que almacenan el contenido de la información sensorial, como lo que significan sus señales, han representado importantes logros de Romo y su equipo en el conocimiento no sólo de la percepción, sino también del funcionamiento de la memoria y del proceso de tomar decisiones.

En sus experimentos los investigadores han obtenido registros tan precisos que les basta con reconocer en ellos las señales neuronales para saber si el mono detectó correctamente el estímulo, antes de que éste oprima el botón para indicar que así fue. En otras palabras, prácticamente han conseguido leer la mente del animal con sólo observar la actividad de sus neuronas.

Más recientemente, Ranulfo Romo, con la colaboración de Víctor de Lafuente, del Instituto de Neurobiología de la UNAM, encontró que las percepciones no surgen de la actividad cerebral en una zona llamada corteza somatosensorial primaria, como se creyó por mucho tiempo, sino en

Registro de la actividad neuronal

Existen varios métodos para registrar la actividad cerebral en general, como la electroencefalografía, la magnetoencefalografía y la resonancia magnética funcional, pero por sus características éstos no permiten registrar la actividad de neuronas individuales. El equipo básico para conseguirlo comprende microelectrodos, amplificadores, micromanipuladores (aparatos que permiten interactuar físicamente con una muestra bajo el microscopio) y aparatos de registro. Este procedimiento es posible porque, cuando una neurona se activa, genera un potencial de acción (un impulso eléctrico que envía mensajes entre neuronas), y esta señal se propaga por la neurona como una corriente, a través de su membrana celular y de su axón. Esta corriente crea una variación de voltaje dentro y fuera de la célula.

Lo que se hace es insertar un microelectrodo en el cerebro para poder registrar los cambios de voltaje en el tiempo. Las señales captadas por el microelectrodo se amplifican, y luego se filtran para enviarlas a una computadora, que analiza y correlaciona los datos.

El registro de neuronas individuales comenzó a utilizarse desde los años 50 y 60, y en 1978 por primera vez se implantaron microelectrodos en la corteza cerebral de monos.

la corteza premotora media del lóbulo frontal, área cerebral de orden superior, asociada con la toma de decisiones.

Por lo general, estas investigaciones se realizan registrando un área del cerebro a la vez y recogiendo de manera sucesiva la información, que se unifica en una computadora para estudiar la totalidad de un proceso cerebral. Sin embargo, los tiempos cambian también en las neurociencias, por lo que el doctor Romo sugirió a su colaboradora Verónica Nacher que hiciera la prueba de registrar simultáneamente los elementos del proceso de discriminación, en tiempo real. Así, dice la doctora Nacher, “registramos cinco áreas del cerebro de manera simultánea (áreas asociadas con percepción, memoria, toma de decisiones y planificación motora) para saber cómo trabaja el cerebro; cómo se coordinan estas áreas cerebrales mientras el animal memoriza”. A partir del conocimiento de que existen



Microelectrodo utilizado para el registro de la actividad de una sola neurona.

diferentes áreas cerebrales implicadas en la memoria, la doctora Nacher examina actualmente cómo interactúan de manera real en el tiempo no sólo en relación con la memoria, sino también con la toma de decisiones.

El proyecto de otra investigadora del grupo de Romo, Yuriria Vázquez, se ha centrado en un área cerebral subcortical: el tálamo. Vázquez señala que “para poder discriminar un estímulo, categorizarlo o recordarlo, primero tenemos que detectarlo y hacer consciente esa detección”, que Romo y De Lafuente han ubicado en varias áreas de la corteza cerebral. Pero antes de llegar a la corteza, la información debe pasar primero por el tálamo. “Así que la pregunta es ¿cómo se codifica allí la información de un estímulo y cómo se dirige hacia la corteza?” Para averiguarlo, Vázquez registra simultáneamente la actividad neuronal en el tálamo y en la corteza en el momento en que un animal detecta conscientemente un estímulo.

A futuro

“El funcionamiento del cerebro es un problema tan vasto que todavía nadie lo conoce por completo”, señala el doctor Romo. El trabajo que realiza con sus colaboradores “consiste en comprender la maquinaria neuronal: cómo percibe el cerebro, cómo memoriza, cómo toma decisiones, cómo genera nuestra conducta motora voluntaria”. Y



A través de programas diseñados en el laboratorio se determina cómo la actividad eléctrica neuronal (potencial de acción) cambia cuando el mono realiza una tarea de discriminación (izq.), al mismo tiempo que se controla el desplazamiento de los microelectrodos dentro la corteza cerebral y se determinan las propiedades (amplitud y duración) de esta actividad (der.).

añade que estas cuestiones se han planteado desde hace muchísimo tiempo, pues siempre ha habido grandes pensadores y también experimentalistas. Pero es hasta ahora cuando se comienza a tener una idea más clara de cómo efectúan las neuronas estas operaciones cerebrales en circuitos muy bien estudiados en el laboratorio.

Ha tomado mucho tiempo, señala Romo, saber cómo trabaja una neurona, cómo trabajan dos, cómo trabaja un conjunto de neuronas, cómo se pasan la información de un circuito a otro y cómo, al pasarse de este modo la información, surge una propiedad

emergente asociada con aspectos tan complejos como la subjetividad o la interpretación de los eventos. “Enclavadas en esto están grandes preguntas, por ejemplo ¿de dónde viene la subjetividad?”

Es probable que la explicación formal para funciones tan complejas como la subjetividad o la conciencia no se haya producido aún “porque todavía no tenemos a mano los elementos de conocimiento sólido”, apunta el doctor Romo, “pero eso no significa que no vayan a explicarse algún día”. Simplemente son etapas en el avance de la investigación que a veces da un salto y luego se estanca, y hay que ponerse a trabajar para que avance de nuevo.

La naturalidad con que generalmente percibimos puede hacernos pensar: “ya sé que hago todo eso con mi cerebro”, dice Romo. Pero si llega un día en que ya no oigamos bien, no recordemos bien, o no decidamos bien, seguramente nos preguntaremos cuál es la razón. La investigación básica es esencial para abrir camino a la búsqueda de formas de reparar o atenuar esos problemas cerebrales, que son muy comunes, concluye el investigador. ●

Más información

- Johnson, Steven, “La mente de par en par. Nuestro cerebro y la neurociencia en la vida cotidiana”, FCE, México, 2008.
- www.ejournal.unam.mx/rfm/no44-1/RFM44101.pdf

Verónica Guerrero, periodista y divulgadora de la ciencia, colabora en *¿Cómo ves?* y otras áreas de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, y como corresponsal ocasional para la revista *Nature Biotechnology*.