

# LA MEDIDA DEL CEREBRO

## Fronteras de la imagen cerebral y la neurofisiología

Jordi A. Jauset Berrocal

### EL CEREBRO Y EL UNIVERSO

Hay quien compara nuestro cerebro con el universo y, según podemos observar en algunas de las imágenes obtenidas, no cabe duda de que existen ciertas semejanzas. Nuestro órgano «rey» no tiene estrellas, pero sí neuronas y muchas, ¡muchísimas!, alrededor de 86 000 millones según las últimas cifras que barajan los científicos, aproximadamente la tercera parte del número de estrellas que componen la Vía Láctea. Pero cada neurona puede contactar simultáneamente con hasta otras 10 000 neuronas, por lo que se estima en muchos billones las posibles conexiones entre ellas, un número comparable e incluso superior, seguramente, al de estrellas que existen en el universo. Sin embargo, la semejanza entre cerebro y universo no viene dada por esas cantidades, sino por su complejidad, y el misterio y el desconocimiento que los envuelve a ambos.

### MUCHOS SECRETOS POR DESCUBRIR

Es cierto que cada día que pasa se sabe un poco más pero, al mismo tiempo, se evidencian nuevas incógnitas y posibilidades —derivadas de los nuevos conocimientos— que multiplican de forma exponencial la magnitud de lo que aún se desconoce. De ahí la famosa y sabia frase atribuida a Isaac Newton: «Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano». Es el precio del conocimiento, un camino apasionante, sin lugar a dudas, pero también

arduo en el que hay que ser muy constante y curioso, a la vez que humilde, para ir avanzando paso a paso. Dada la inmensa complejidad del cerebro, hay científicos, como David Hubel, Premio Nobel de Medicina de 1981, que consideran imposible que algún día seamos capaces de desvelar este misterio, pues según cita «[...] en su diseño no se contempla el conocimiento total de su funcionamiento...». Posiblemente todo sea cuestión de tiempo, de mucho tiempo y de mucha investigación, pues en el ámbito científico difícilmente existen atajos, aunque sí ideas e ilusión que requieren medios y constancia para llegar a vislumbrar pequeñas luces que iluminan el largo y tortuoso camino del conocimiento.

## EL DILEMA DE JUAN

Hace unos días, me encontré con Juan, un viejo amigo, y estuvimos charlando, recordando tiempos pasados, aquellos años de la juventud que nunca se olvidan. En nuestra infancia, íbamos al colegio juntos dado que vivíamos en pisos contiguos. Siempre hemos mantenido cierto contacto para saber de nuestras vidas, la familia, el trabajo..., en fin, lo habitual. Cada vez que nos vemos recordamos aquellos felices días y coincidimos en lo rápido que pasa la vida y cómo los años se suceden a velocidades que, en nuestra infancia, equivaldrían a meses. Ambos llegamos a la conclusión de que ya no contaríamos nuestros cumpleaños así que, metafóricamente, nos detuvimos al llegar a los 50. No es que tengamos muchos más pero la verdad es que ya no llevamos la cuenta.

Esta vez, sin embargo, cuando le vi llegar temí que algo no iba bien. Su semblante no era el que yo recordaba del último encuentro. Nos saludamos afectuosamente y al poco de iniciar la conversación me comentó que estaba preocupado ya que desde hacía algunas semanas, y de forma periódica, padecía fuertes dolores de cabeza. Por insistencia de su mujer había acudido a su médico —el doctor Anselmo— y este, después de un detenido reconocimiento, le había aconsejado que se hiciera unas exploraciones cerebrales. Los dolores de cabeza —le comentó— podían ser síntomas de múl-

tiples causas y los resultados de dichas pruebas le ayudarían para un diagnóstico correcto.

—Bien, pero no te preocupes, a lo mejor no es nada —le dije en tono tranquilizador.

—Puede, pero el doctor Anselmo, al finalizar la visita, me hizo algunos comentarios que me asustaron. Me dijo que estaría sometido a potentes campos magnéticos, que alguna de las pruebas requería inyectarme radiactividad en la sangre y que en otra de ellas me pondrían una especie de casco con corrientes eléctricas o algo así. De hecho, estaba ya tan fuera de mí que no prestaba demasiada atención a lo que me decía. Me insistió, eso sí, en que los resultados de las pruebas le ayudarían a saber si existía o no alguna anomalía en mi cerebro que pudiera ser la causa de estos dolores de cabeza. No descarta, según añadió, que sea algo pasajero, ocasional, debido a causas emocionales. Pero quiere cerciorarse y estar seguro de ello.

—Son pruebas bastante habituales hoy en día —respondí intentando quitarle importancia—.

—Quizá, pero no me agrada nada lo de la radiactividad y, por otra parte, tener sometido mi cerebro a corrientes eléctricas y a campos electromagnéticos tampoco me hace ninguna gracia porque a lo mejor eso sí que me lo daña y acaba perjudicándome.

Mientras hablaba, Juan denotaba cierta angustia pero no quise darle mayor importancia. Me pareció ver a una persona hipcondríaca, con mucho temor, y con información confusa, así que pensé en ayudarlo. Recordé que hacía unos años había seguido un curso sobre neurociencia, un tema que me apasiona, en el que se analizaban estas técnicas exploratorias, y me ofrecí para explicarle de una forma sencilla cómo eran esos procesos, qué inconvenientes podían tener y cuáles eran las indicaciones más apropiadas.

Juan asintió, a la vez que respiraba profundamente. Su semblante cambió y aprecié cómo su rostro se relajaba e incluso llegó a mostrar una tímida sonrisa. Me agradeció enormemente mi interés y después del último trago de cerveza le dije:

—Juan, cuando tenga preparada la información, te mando un *whatsapp* y quedamos, ¿te parece?

—De acuerdo, aunque no dispongo de mucho tiempo. El próximo viernes, de aquí cinco días, tengo hora para la visita y me comprometí con el doctor Anselmo en darle una respuesta para, en caso afirmativo, empezar cuanto antes las pruebas.

—No te preocupes, déjame un par de días para que pueda revisar algunos apuntes y charlamos.

—Gracias Jordi. Espero, pues, tu mensaje.

Nos despedimos y quedamos en vernos al cabo de unos días.

Cuando regresaba a casa pensé que quizá me había complicado la vida. ¿Cómo iba explicarle de forma simple unos procesos tan complejos? ¿Sería capaz? Bueno, pensé, voy a tomármelo como un reto personal. Al fin y al cabo he ejercido como profesor durante muchos años. Lo esencial es que yo entienda bien el proceso para poder buscar la forma simple, pero rigurosa, de explicárselo y que le resulte fácil entenderlo.

Una vez en casa, fui a mi biblioteca particular y busqué los libros y apuntes que había utilizado hacía unos años cuando me inicié en el apasionante campo de la neurociencia. Los seleccioné y, ordenadamente, los amontoné en un extremo de la mesa de trabajo para retomarlos en cuanto dispusiera del tiempo necesario. Ya había dado el primer paso, así que no podía echarme atrás.

## LAS TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN CEREBRAL

Pasaron un par de días y, por fin, organicé mi tiempo para dedicarme a ello. Fui directo a los capítulos en los que se relataban las técnicas de exploración cerebral, sus ventajas e inconvenientes, pues no tenía tiempo que perder.

Básicamente, se exponían la electroencefalografía (EEG, técnica neurofisiológica) de gran resolución temporal y que mide una relación causa-efecto, y aquellas que se clasifican como técnicas de neuroimagen. Estas últimas son adecuadas para observar patrones

de activación en distintas zonas cerebrales. En general, ellas, que son indoloras y se consideran como poco o nada invasivas, utilizan equipos diseñados para detectar cambios eléctricos, magnéticos y/o metabólicos que estén relacionados directa o indirectamente con un incremento de la actividad neural en determinadas áreas que pueden llegar a abarcar miles de millones de células nerviosas.

Comencé, pues, seleccionando las técnicas de neuroimagen más usuales, con la idea de refrescar mis conocimientos y, a la vez, confeccionar unos pequeños esquemas y resúmenes que fueran útiles para la explicación: la tomografía axial computerizada (TAC), basada en los rayos X; la resonancia magnética (RM) y la resonancia magnética funcional (RMF), que se fundamentan en el fenómeno físico de la resonancia magnética; y la tomografía por emisión de positrones (TEP), que es una aplicación específica de la medicina nuclear. Esta última es la que Juan teme por el uso de elementos radiactivos, así que habrá que revisarla con más atención.

### **La tomografía axial computerizada (TAC)**

La tomografía axial computerizada, vulgarmente conocida como TAC, se basa en una técnica sencilla de entender. Consiste en tomar *muchas fotografías del interior del cerebro desde diferentes planos y posiciones que un sistema informático reconstruye en imágenes tridimensionales.*

Me detuve y me pregunté si esa sería la manera más pedagógica de explicar el proceso. Me quedé mirando por la ventana durante unos segundos, de forma casi inconsciente, en busca de alguna idea brillante. Luego, escribí «luz» en mi hoja de notas. Ya sabía cómo explicarlo.

Puedo decir que es como si una lámpara de luz iluminara mi mano y, luego, observara la sombra que proyecta en la pared, aunque deberé matizarlo. Sonreí satisfecho; ese era un buen comienzo.

De hecho, en la TAC no se emite luz sino *rayos X*. Al igual que la luz, los rayos X también son radiaciones electromagnéticas pero de frecuencias mucho más elevadas, lo que implica que son muy energéticas. Cuando penetran en nuestro organismo, su energía es

absorbida en mayor o menor grado según la densidad de las estructuras que atraviesan. Por ejemplo, los huesos la absorben pero los tejidos blandos no. Al terminar el recorrido, llegan al detector (placas) y aparecen unas zonas oscuras y otras más claras. Las áreas oscuras se relacionan con los órganos *poco densos* (tejidos) y las blancuecinas, con los órganos *más densos*, es decir, aquellos que han absorbido totalmente la radiación. La TAC equivale a muchas radiografías tridimensionales procesadas por ordenador.

Pero, mientras elaboraba mi argumentación caí en un detalle: pensé que debería mencionar que los rayos X no son inocuos y que comportan cierto riesgo de acumulación. Se considera que estas radiaciones son ionizantes, es decir, que debido a su alto contenido energético pueden «arrancar» electrones de los átomos con los que colisionan produciendo iones (cargas eléctricas). Si estamos expuestos mucho tiempo a ellas, esta capacidad de ionizar puede perjudicarnos seriamente.

Como ya es conocido, los equipos actuales se diseñan con potencias pequeñas para que las dosis absorbidas y el efecto mencionado sean insignificantes. Pensemos que no solamente recibimos estas radiaciones de los equipos de diagnóstico médicos sino también de fuentes externas naturales. Cuando viajamos en avión, por ejemplo, o cuando vamos de excursión a la montaña, a más de 2000 metros de altitud, también absorbemos radiaciones, en este caso cósmicas, pero con efectos similares. Lo más importante es no sobrepasar los límites anuales que los organismos internacionales que velan por la salud establecen en sus normativas legales basadas en los acuerdos de la comunidad científica. *En principio, podríamos decir que con las habituales pruebas médicas que todos nos hacemos a lo largo del año, no hay ningún peligro para la salud.*

Una vez tuve claros esos conceptos, me centré en las ventajas del TAC: su capacidad de «ver» si hay alguna anomalía en la estructura interna del cerebro y de detectar posibles malformaciones, como por ejemplo, un tumor.

—Quizá mejor obviar esta palabra, que siempre asusta, y mencionar «asimetrías» o algo similar... —pensé—.

Permanecí un par de minutos repasando los apuntes mientras comprobaba que todo estaba correcto.

—¡Ah! También comentaré que le pedirán que se tumbe en una camilla y que su cabeza se situará en el centro de una especie de corona circular desde donde le tomarán múltiples «fotos» de su cerebro.

Ahora sí. Ya tenía completada la primera parte, pero me faltaba organizar la información sobre la resonancia magnética, que era bastante más compleja.

### **La resonancia magnética (RM y RMF)**

Lo primero que se me ocurre, al recordar experiencias personales, es el desagradable ruido que hay que soportar. Le aconsejaré que pregunte si existe la posibilidad de poder escuchar música con auriculares, tal como me ofrecieron a mí la última vez. Esa es la mejor opción pues, así, el tiempo pasa volando (la prueba dura una media hora) y de una manera muy relajada.

También debo recomendarle que, si padece claustrofobia, solicite un equipo de resonancia anticlaustrofóbico. Es realmente angustiante estar en el interior de un gran cilindro en el que te encuentras como aprisionado. Anoté este pensamiento, escribiendo la palabra «claustrofobia» entre interrogantes y remarcándola en rojo.

Además, como insisten en que no hay que moverse (si no la imagen no se reconstruye bien) se debe estar lo más cómodo y relajado posible. Así que mis consejos serán que se olvide de dónde está, que cierre los ojos y que se deje llevar por la música.

De pronto me asaltó una duda, ¿cómo explicarle lo que le sucedería a su cerebro? Lo ensayé en voz alta:

—Como sabes, Juan, la mayor parte de nuestro organismo está formado por agua, es decir, por átomos de hidrógeno y oxígeno. *Cuando los átomos de hidrógeno están inmersos en un campo magnético potente, les ocurre lo mismo que a una brújula, se orientan y se alinean todos en una misma dirección.*

Me detuve, tenía la sensación de que Juan estaba frente a mí. Animado, proseguí.

—¿Recuerdas aquellos experimentos en el instituto de los imanes y las brújulas? Pues algo similar sucede con el cerebro. Entonces, *una vez los átomos están alineados, se estimulan con pequeñas cantidades de energía adicionales mediante unos impulsos de radiofrecuencia.*

Mi explicación sería formativa y pedagógica, diría que los átomos de hidrógeno absorben dicha energía suplementaria y la utilizan para situarse en una nueva posición energética. Cuando cesan esos impulsos, *no les queda otro remedio que regresar a su posición anterior y lo hacen desprendiéndose de ese plus de energía que han acumulado.* Imaginé la conversación:

—Bien, pues esta liberación energética es lo que detectan los equipos diseñados para ello y, una vez procesada la información, se consiguen imágenes digitales de las zonas exploradas desde distintas perspectivas o cortes. Ya ves que detrás de todo esto hay un trabajo de ingeniería espectacular. En definitiva, *según son las densidades de los tejidos explorados, se obtendrán imágenes con una determinada gama de grises.*

Perfecto, pensé reflexionando sobre la explicación, luego mostraré algunas imágenes, diciéndole que presentan una muy buena resolución y contraste entre tejidos, y creo que con esto ya es suficiente para que sepa en qué consiste una RM.

En cuanto a las ventajas de esta técnica no olvidaré mencionar que no entraña ningún riesgo de acumulación de radiación ya que, en este caso, no se produce el fenómeno de ionización. Imaginé cuál sería una de sus preguntas: «¿Y estos campos magnéticos no van a dañarme?». Y me apresuré a formular mi respuesta:

—No, en principio no tienen por qué dañarte. Eso sí, antes de hacerte la prueba te preguntarán si tienes elementos en tu cuer-



po que puedan ser «atraídos» y sometidos a estas fuerzas magnéticas (implantes, marcapasos...). Si es así, no podrás hacértela pues eso sería peligroso. Por lo demás, no se han descrito, hasta ahora, efectos perjudiciales.

Bien, ya tenía dos técnicas, la TAC y la RM, bastante claras. Me pareció que podría ser interesante comentar la diferencia con la resonancia magnética funcional (RMF), implementada en la década de 1990, capaz de medir la actividad neuronal a través de los cambios detectados del *flujo sanguíneo y su metabolismo*. Según leía en los apuntes, cuando una neurona está activa (ya sea por un proceso sensorial o cognitivo), consume más oxígeno y glucosa, y el flujo sanguíneo aumenta. Estos cambios se correlacionan con cierta actividad extra en las áreas o zonas cerebrales que están implicadas por lo que, en definitiva, se obtendrán *imágenes de un cerebro «en acción»*, es decir, mientras está ejecutando determinadas tareas. De forma optimista, podríamos decir que estaríamos leyendo lo que ocurre en la mente durante esa actividad.

Hoy en día las aplicaciones de la RMF son múltiples: como soporte en la planificación de intervenciones quirúrgicas (localizando la situación exacta de las funciones básicas que deben preservarse a toda costa como son el lenguaje y la capacidad motora, entre otros), para detectar síntomas de infartos cerebrales y para avanzar en el conocimiento del funcionamiento del cerebro observando las zonas que se activan ante la ejecución de determinadas tareas o estímulos emocionales, en comparación con otras neutras. En el caso de Juan, por lo que me comentó, el médico quería valorar la existencia o no de irregularidades o anomalías estructurales por lo que imaginé que sería más adecuada una RM simple.

### **La tomografía por emisión de positrones (TEP)**

Bueno, voy a seguir, me dije. Creo que solo queda una técnica, la tomografía por emisión de positrones (TEP). Recuerdo que con ella se medía la actividad metabólica de las neuronas ya fuera en reposo o como respuesta a diversos estímulos. Es la que teme Juan,

pensé, pues efectivamente se requiere *inyectar un elemento radiactivo* en el flujo sanguíneo y por eso es considerada como invasiva. Mientras buscaba información más detallada, me detuve en una página de un libro de neurociencia en el que se citaba: «... se administran elementos radiactivos de vida breve (radioisótopo) utilizando una sustancia (trazador) que se inyecta en la corriente sanguínea “marcada” con un isótopo radiactivo. El conjunto de ambas forma el “radiotrazador o radiofármaco”. La sustancia radiactiva emitirá positrones (electrones cargados positivamente) que interaccionarán con electrones de los átomos adyacentes dando lugar a fotones de radiación electromagnética. Al detectarse estas radiaciones con los sensores adecuados, se confeccionarán mapas de localización del trazador en la zona explorada y podrá cuantificarse su distribución local...». ¡Vaya galimatías! Debo pensar cómo traducirlo a un lenguaje más entendible.

Puedo decir que para poder «ver» mediante imágenes cómo responde una determinada zona del cerebro que el médico considera sospechosa, necesita el soporte de una sustancia que proporcione esa visibilidad, esa luz, y, por ahora, eso solo es posible utilizando un elemento «radiactivo». Su función es similar a la de un jinete y su caballo. Utiliza el caballo como medio de transporte para llegar al destino deseado. El jinete es el elemento radiactivo que gracias al caballo llega a su destino, es decir, al lugar donde interesa visualizar qué ocurre. Es cierto, pues, que se administra por vía venosa una pequeña cantidad de un elemento radiactivo, que viaja a través de la sangre y se acumula o deposita en órganos y tejidos. Hay que esperar un tiempo (aproximadamente una hora) para que el organismo pueda absorber el marcador. Luego se sitúa al paciente en una camilla que se introduce en el interior de un escáner en forma de túnel para que puedan detectarse las señales que emite el elemento radiactivo. Finalmente, un complejo sistema informático convertirá esas informaciones en imágenes coloreadas. La radiactividad, pues, es imprescindible para «alumbrar» y poder observar qué ocurre en esas determinadas zonas que el médico quiere explorar.

Ya me estoy imaginado la conversación:

—¿Y qué daño hace el elemento radiactivo dentro de mi organismo?

—Mira, Juan, no puedo decirte que no tenga ninguna consecuencia pero lo cierto es que tienen una vida media muy corta, lo cual significa que permanece muy poco tiempo en nuestro organismo. Por tanto, ante la valiosa información que puede aportar esta prueba, estos efectos se consideran despreciables. Pero, tienes razón, algún efecto, aunque sea pequeño, puede existir. En todo caso, el médico te informará mejor pues yo no tengo conocimientos para hacerlo.

Esto es lo que le responderé, pues creo que debo ser sincero y, a la vez, prudente en mi respuesta.

Tras esas explicaciones le mostraré una imágenes indicándole que aquellas zonas con mayor intensidad de color se corresponden con las que han metabolizado en mayor proporción la sustancia elegida y viceversa. Son de poca resolución, es cierto, y por eso se combinan en la práctica con imágenes de RM y/o TAC.

La TEP es ampliamente utilizada en psiquiatría y neurología. Es de gran ayuda en el diagnóstico de demencias y enfermedades degenerativas cerebrales pues permite observar alteraciones funcionales en zonas estructuralmente intactas. Es útil en diagnósticos de Alzheimer, por ejemplo, y para el estudio de los neurotransmisores. Pero esto ni se me ocurrirá citarlo para no preocuparlo más.

## UNA CONVERSACIÓN TELEFÓNICA

Llegado este punto dudé si enviar un *whatsapp* a Juan y quedar con él al día siguiente o llamarlo por teléfono. Opté por la segunda opción.

—Hola Juan, ¿cómo estás?

—¡Hola Jordi! La verdad... con muchas ganas de hablar contigo. Le estoy dando vueltas a la cabeza con las dichas pruebas. Por cierto, ayer, un compañero del trabajo me decía que no me las

hiciera pues podían provocarme un cáncer. Me comentó que te irradian alta frecuencia y eso es muy dañino. ¿Es así? —su tono era de preocupación—.

—¡Vaya! ¿Y este amigo tuyo, es médico?

—No, pero me dijo que había leído mucho al respecto y que no me fiara. Que sería mejor que me tomara unos calmantes y que en unos días posiblemente se me pasarían los dolores.

—No sé, tú mismo, yo creo que no es una buena solución. Tal como quedamos, si quieres, te explico en qué consisten esas pruebas y luego, decides. Al fin y al cabo es tu responsabilidad. La salud es un bien personal y debemos gestionarla cada uno de nosotros, no podemos dejar la decisión a otra persona, ni a un amigo o compañero ni incluso al médico —hice una pausa para darle tiempo a reflexionar—. Considero que tenemos que buscar la máxima información posible y pedir opiniones, más de una, eso sí, a profesionales médicos. Pero, personalmente, siempre he creído que la decisión final nos corresponde a cada uno de nosotros. Pero, como tú quieras —concluí—.

—De acuerdo. Mañana por la tarde, salgo a las siete. Si te parece nos vemos a esa hora, ¿te va bien?

—Sí, perfecto. Venga, mañana nos vemos. Y estate tranquilo, ya verás que todo es más simple de lo que crees. ¡Hasta mañana!

—Gracias Jordi, ¡Hasta mañana!

Colgué, me di cuenta de la hora que era y de lo intensa que había sido la tarde. Decidí prepararme una cena frugal y acostarme. Mis neuronas necesitaban reposo...

## UNA CONVERSACIÓN ENTRE AMIGOS

Al día siguiente, tal como quedamos, tuvimos el encuentro. En realidad, la charla fue más larga de lo que había imaginado. Saqué mis resúmenes para seguir mejor la explicación y conecté el portátil para ir mostrando las distintas imágenes. La conversación fue muy distendida: comencé explicando en qué consistían las explo-

raciones, sus ventajas e inconvenientes y para qué se utilizaban. Luego le mostraba las imágenes que se obtenían y comentaba la ayuda que representaban para que el médico pudiera hacer un correcto diagnóstico.

Juan estuvo muy atento y de vez en cuando me interrumpía para hacerme alguna pregunta; por suerte, las que había previsto. No en vano, nos conocíamos desde hacía mucho tiempo. Lo que más le interesaba saber era hasta qué punto podían ser perjudiciales y si eran o no indoloras. Aclarados estos puntos y, para estar seguro de que realmente lo había comprendido, intercambiamos los papeles y era yo el que le preguntaba acerca de una u otra prueba. El juego le gustó y vi que lo había entendido perfectamente.

### **La electroencefalografía (EEG)**

—Oye, Jordi, ¿y esa otra técnica que utiliza electricidad y por la que te inducen corrientes en la cabeza?

—¿Electricidad en la cabeza? —la pregunta me descolocó—.

—Sí, te colocan muchos cables en el cerebro...

—¡Ah! Posiblemente te refieres a la electroencefalografía (EEG). Es cierto, me había olvidado de ella. ¡Qué despistado soy!

—Sí, creo que se llamaba así, «electroencefalografía». Y... por ahí sí que no paso, no quiero que me electrifiquen la cabeza...

—¡Jajajaja!... ¡No hombre no!... es todo lo contrario. Todos esos cables y conectores son precisamente para detectar la electricidad que produce tu cerebro, no para torturarte con corrientes eléctricas...

—¿Yo produzco electricidad?

—Sí, aunque te suene raro, así es. Fíjate que podríamos alimentar una pequeña bombilla de unos pocos vatios con la electricidad que genera nuestro cerebro. Mira, déjame que busque unas imágenes en internet y te lo explico. Esta técnica es la más antigua de todas, pues data de principios del siglo pasado. Lo que hace —le comenté— es detectar y amplificar la actividad eléctrica de las neuronas. Por eso se utiliza esa especie de malla, como si fuéramos un guerrero medieval, pero con pequeños electrodos alre-

dedor de la cabeza. Además, es totalmente indolora. *No te inducen electricidad, sino que detectan la que nuestro cerebro produce en base a su funcionamiento normal.* Piensa que de la misma forma que por el cable de fibra óptica que te llega a casa y te conecta a internet circulan bits, nuestro cerebro «trabaja» con impulsos eléctricos. Es su lenguaje y su forma de comunicarse con los cientos de millones de neuronas. La gran ventaja de la EEG es que las señales eléctricas detectadas, denominadas *potenciales evocados, son las respuestas de la actividad nerviosa del momento preciso en el que estás efectuando cualquier actividad.* Por eso se dice que su resolución temporal es muy elevada, del orden de milésimas de segundos.

—¿Y qué hace exactamente? —me preguntó Juan con curiosidad—.

—Imagínate que estás situado frente a la pantalla de un ordenador y el doctor te indica que, cuando veas aparecer una frase, simplemente la lees. En ese momento, cuando «ves» la frase, te fijas en ella, pones atención y la lees, la actividad neuronal que se origina se manifiesta generando unos impulsos eléctricos en determinadas áreas específicas de tu cerebro. Y eso es, precisamente, lo que detecta el EEG, respuestas eléctricas que son casi instantáneas. ¡Ah, por cierto! Que sepas que no vas a sentir absolutamente nada y que ni tan siquiera debes tumbarte en una camilla como en las pruebas anteriores.

—¡Ufff!... ahora ya me quedo más tranquilo. Pensé que sería similar a una prueba que me hicieron hace unos años en el brazo en la que me daban unos pequeños pinchazos y me inducían corrientes eléctricas... Me daba la sensación de que me estaban torturando...

—Seguramente te refieres a la electromiografía. Esta sí que es una prueba molesta. Ahí te doy toda la razón. Pero no, tranquilo, no tiene nada que ver con ella.

Me di pues por satisfecho. Juan agradeció mi interés e incluso me dio un abrazo, lo cual me sorprendió pues no era habitual en él. Cuando se despedía me comentó que su temor ya no era por la prueba en sí sino por la incertidumbre acerca de lo que podían

mostrar o encontrar con dichas exploraciones. Pero también era consciente de que no podía vivir con esa duda y que había que dar ese paso al frente y cuanto antes mejor.

—Buena decisión —le dije—. Este es el Juan que yo conozco. Ya verás como todo queda en un susto. No te olvides de llamarme y decirme cómo ha ido todo.

—Sí, claro, te lo debo. ¡Hasta pronto!

## LA MAGNETOENCEFALOGRAFÍA (MEG) Y LA RESONANCIA MAGNÉTICA POR TENSORES DE DIFUSIÓN (DTI)

Después del encuentro con Juan, me sentí más tranquilo y relajado, pues había conseguido que no estuviera tan angustiado. Para no complicarle la vida, no le hablé de otras técnicas como la magnetoencefalografía (MEG) y la resonancia magnética por tensores de difusión (DTI, en inglés *Diffusion Tensor Images*).

La primera engloba las virtudes de la electroencefalografía y la resonancia magnética, aunque suele ser muy cara porque sus instalaciones requieren un gran aislamiento magnético, lo que no es fácil ni barato de conseguir. Su ventaja es que permite acceder a la actividad neuronal de áreas más profundas que la EEG. Es inocua y no requiere ni la aplicación de electrodos, como la EEG, ni de marcadores radiactivos, como la TEP. Resulta de ayuda, por ejemplo, en la diagnosis de la epilepsia.

En cuanto a la resonancia magnética por tensores de difusión (DTI), llama la atención por las bellas imágenes que ofrece. En ellas se visualizan las conexiones —formadas por grupos de axones a través de los cuales viajan los impulsos nerviosos— entre diversas zonas cerebrales. Para conseguir esas bellas imágenes se estudia y se analiza el movimiento microscópico de difusión de los átomos de hidrógeno, principalmente los contenidos en las moléculas de agua. Algunos tejidos orgánicos, como ocurre en la sustancia blanca (nombre que recibe la *mielina* que forma parte de la mayoría de

los axones y que actúa como aislante contribuyendo a que la propagación de los impulsos nerviosos sea más rápida), fuerzan la difusión del agua en una única dirección, aquella que «marcan» los axones que actúan como si fueran microscópicas tuberías por las que circula el agua. Unos equipos basados en potentes algoritmos matemáticos computerizados construirán las imágenes tridimensionales de los trazos de materia blanca, dando lugar a imágenes francamente sorprendentes.

Hasta hace poco tiempo estos tractos o vías axonales solamente eran visibles en vivo (en neurocirugía) o en autopsias, pero no a través de imágenes como permite esta técnica.

## INVESTIGACIONES RECIENTES: «SCALE» Y «CLARITY»

Mientras me documentaba para preparar la «charla» con Juan, me llamó la atención una noticia acerca de las últimas investigaciones en la exploración cerebral. La novedad es que permiten ver, en tres dimensiones y con una elevada resolución, incluso a nivel celular. Hasta ahora, esto solamente era posible mediante animaciones por ordenador, pues las actuales técnicas tomográficas carecen de resolución a escala celular y subcelular.

En este sentido, un grupo de investigadores japoneses, liderados por el dr. Hiroshi Hama, desarrolló en 2011 una novedosa solución acuosa llamada «Scale» que convertía los tejidos en estructuras ópticamente transparentes, sin perder su forma ni función. Ello facilita la observación de las estructuras intracelulares y, en el caso del cerebro, las neuronas, sus conexiones, las distintas redes neuronales... ¡Realmente apasionante!

Más recientemente, en 2013, se presentó una nueva tecnología, bautizada como «Clarity» y desarrollada por ingenieros de la Universidad de Standford. En este caso, se extraen los lípidos o grasas sin dañar los tejidos —gracias a un complejo proceso químico— lo que da como resultado un cerebro transparente. Eso sí, este procedimiento solo puede aplicarse a órganos extraídos del cuerpo. Con Clarity, los órganos donados para investigación «renacen» y



pueden usarse para sustituir las técnicas de reconstrucción 3D basadas en tomografía. Esta tecnología ha sido probada en ratones y en muestras de tejidos del cerebro humano.

## EL FUTURO

¿Qué avances se esperan en un futuro? Posiblemente, en unos pocos años existirán modelos computacionales tridimensionales del cerebro —una especie de simuladores cerebrales— con todas sus posibles conexiones. Los investigadores podrán estudiar, analizar y experimentar sobre la aplicación de diversos fármacos, estímulos o terapias que ayuden a prevenir y a retardar las temibles enfermedades neurodegenerativas. Estos son, por lo menos, los objetivos de los actuales proyectos mundiales de investigación del cerebro liderados por Estados Unidos y por Europa: los famosos Brain Activity Map y Human Brain Project, respectivamente. Tengamos confianza. Disponemos de tecnología y de conocimiento. Si se dedican recursos suficientes, será una realidad en un futuro próximo y sus beneficios repercutirán en una mejora de nuestra calidad de vida. ¡Vale la pena intentarlo!

## PERO... ¿QUÉ FUE DE JUAN?

Estaba entusiasmado pensando en las posibilidades de todas estas últimas investigaciones y casi se me olvida... Ayer recibí una llamada de Juan. Cuando contesté al móvil y vi su número de teléfono, me sentí algo nervioso. Sin embargo, en cuanto empezó a hablar me di cuenta, por su tono de voz, de que estaba eufórico. En un primer momento pensé que le había tocado el bote en el sorteo de la Primitiva, pero no... su alegría se debía a que, finalmente, los resultados de todas sus exploraciones cerebrales habían sido negativos. Todo derivaba, según me indicó, de un episodio de estrés ocasionado por la situación laboral que estaba viviendo. Me comentó que mi información le había resultado de gran ayuda y

agradeció de nuevo todas mis explicaciones y el tiempo e interés que le había dedicado.

A veces pienso que, ya que solo vivimos una vez, vale la pena hacerlo lo mejor posible. Una de las maneras es ayudar a los demás. Nuestra alma lo agradece y, curiosamente, nuestro cerebro también, incrementando los niveles de oxitocina y dopamina, unos neurotransmisores que nos proporcionan sensación de afecto, bienestar y felicidad.

¡Qué simples y, a la vez, qué complicados somos!