



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

LECCIÓN INAUGURAL
Curso Académico 2024/2025

Neuronas que se desarrollan en las aulas: la oportunidad de la neuroeducación

Manuel Martín-Loeches Garrido

Catedrático de Psicobiología

Facultad de Educación - Centro de Formación del Profesorado

Madrid, 2024

Neuronas que se desarrollan en las aulas: la oportunidad de la neuroeducación

Manuel Martín-Loeches Garrido

Catedrático de Psicobiología

Facultad de Educación - Centro de Formación del Profesorado

Secretaría General Universidad Complutense de Madrid

Depósito Legal: M-15761-2024

Corrección, edición, diseño y maquetación:

Departamento de Comunicación e Imagen Corporativa. UCM

Impresión: Grafo. Industrias Gráficas

Quiero dar las gracias al Ilmo. Sr. Decano de la Facultad de Educación, D. Gonzalo Jover Olmeda, por proponerme como merecedor del increíble reto y gran honor de ser el profesor responsable de la lección inaugural de la Universidad Complutense de Madrid para el curso 2024-2025. También quiero agradecer a la Junta de la Facultad de Educación por haber apoyado, por unanimidad, esta iniciativa.

Quiero dar las gracias también a mi grupo de investigación, a mi equipo. Sin ellos, muchas de mis actividades más sociales y divulgativas no podría llevarlas a cabo. Ellos hacen que mi investigación fluya día a día, aprenda mucho con ellos, hagamos ciencia de calidad, y podamos divulgarla y estar en numerosos ámbitos y contextos. Me siento muy orgulloso de ellos.

Rector Magnífico, autoridades, compañeros, estudiantes, señoras, señores. Quisiera empezar agradeciendo al Decano de la Facultad de Educación, D. Gonzalo Jover Olmeda, por proponerme como merecedor del increíble reto y gran honor de ser el profesor responsable de la lección inaugural de la Universidad Complutense para el curso 2024-2025, y a la Junta de dicha Facultad, a quien corresponde este año impartir esta lección, por haber apoyado, por unanimidad, esta iniciativa.

Siendo como es mi Facultad la de Educación, y siendo yo un neurocientífico cognitivo (mi área de conocimiento es la Psicobiología) la temática de esta lección no podría ser otra que la *neuroeducación*, nombre este quizá más acorde con los conceptos que entiende y maneja nuestra sociedad que el que utilizamos para nombrarla en su docencia en la Facultad, *Psicobiología de la Educación*. Intentaré, en lo que sigue, explicar esta disciplina científica que, creo, puede contribuir muchísimo a la mejora de nuestra educación. Y lo haré, en consideración a la variada y heterogénea audiencia que nos atiende, empezando por el principio, explicando qué es eso de la neurociencia, para llegar poco a poco al lugar donde queremos llegar.

Para bien o para mal, nuestra especie tiene especial querencia por todo lo que tenga que ver con ella misma. Casi podríamos habernos llamado *Homo egocentricus* en lugar de *Homo sapiens*, y de hecho es verdad -es algo que he revisado en numerosos escritos- que lo de *sapiens* se nos queda un poco grande. Es parte de lo que nos caracteriza. Durante siglos hemos creído ser no sólo *la especie elegida*, sino el *centro del universo*, algo que ya hace tiempo que cambió. Aun así, no ha decaído en absoluto el interés del ser humano por el ser humano. Y lo prueba el hecho de que entre los temas que más interesan a la opinión pública estén la evolución humana, la astronomía (por lo que tiene que decir sobre nuestro lugar en el Universo, nuestro origen), o la neurociencia, esta última por lo que nos puede decir acerca de algo que nos hace verdaderamente diferentes del resto de las especies de este planeta: nuestro cerebro.

Ya lo dijo el psicólogo Robin Dunbar: somos primates cotillas, dedicamos un buen número de horas al día a cotillear, a hablar sobre cosas mundanas, la mayoría de las cuales son sobre nosotros mismos o sobre los demás en relación con nosotros (Dunbar, 1996). Sin duda, somos el centro de nuestro interés. Las investigaciones demuestran que existe un curioso efecto muy significativo en nuestra cognición: el *efecto de autoreferencia*, podríamos decir, en una traducción libre de lo que en inglés se conoce como *self-reference effect* (Rogers et al., 1977). Consiste este en el aumento notable de la atención ante todo aquello que tenga que ver con nosotros mismos. Una fotografía de mí mismo, mi nombre, o entidades u objetos que tengan que ver conmigo llaman poderosamente mi atención, hasta el punto de desviarla de estímulos que podrían ser importantes en un momento determinado.

Como decíamos, un ejemplo de nuestro interés por nosotros mismos lo tenemos en lo tremendamente atractiva que resulta para el gran público la neurociencia. Y de esto vamos a hablar aquí.

La Neurociencia y la Década del Cerebro

Dice el diccionario de la Real Academia Española, que suelo consultar con relativa frecuencia para encontrar definiciones distintas a las que hallamos en los manuales científicos, que la neurociencia es una *ciencia transversal que se ocupa del sistema nervioso o de cada uno de sus diversos aspectos y funciones especializadas*.

Bajo esta definición, lógicamente, cabe un campo bien amplio de conocimiento y búsqueda científica. Nada menos que el sistema nervioso, que en el humano se divide en sistema nervioso periférico y en aquella parte que está dentro de las estructuras óseas que conocemos como cráneo y columna vertebral y que denominamos sistema nervioso central. De este, el más conocido componente, quizá el más admirado y asombroso, especialmente cuando hablamos del de nuestra especie, es el cerebro. Pero no todo lo “neuro” tiene que ver con el cerebro, ni mucho menos. Y esto es importante para lo que vamos a ver aquí. Y es que esa parte quizá menos atendida por la mayoría, quizá considerada secundaria, y que denominamos sistema nervioso periférico, tiene mucho que decir respecto a nuestro comportamiento, respecto a cómo conocemos el mundo y cómo nos movemos dentro de él.

Sea cual sea la parte del sistema nervioso que hayamos decidido como objeto de estudio, el caso es que existen multitud de facetas que pueden ser estudiadas respecto a la misma. Desde el consumo de glucosa hasta la actividad eléctrica de las neuronas, tenemos un amplísimo abanico de procesos biológicos que pueden ser estudiados, para los cuales existen un buen número de técnicas, muchas de las cuales se han ido desarrollando e incorporando en las últimas décadas. Este es un campo que avanza notablemente, dada su importancia.

En este sentido, desde hace un tiempo existen a nuestra disposición técnicas que supusieron un importantísimo avance en nuestro conocimiento acerca del cerebro humano. Mucho de lo que sabíamos sobre nuestro sistema nervioso se lo debíamos a dos fuentes relativamente indirectas. Por un lado, al estudio en animales, en los que se han podido realizar intervenciones en mayor o menor medida “invasivas” que, por razones éticas y obvias, no podían realizarse en seres humanos. Dado que el cerebro humano y el de muchos animales provienen de un ancestro común, los datos obtenidos de esta manera podían extrapolarse y aplicar dichos descubrimientos y principios a nuestro cerebro. En la gran mayoría de las ocasiones esto es así, es válido, especialmente si la especie estudiada está evolutivamente más cerca de la nuestra, como es el caso de los primates. Pero también es verdad que mediante esta aproximación no podíamos estudiar, al menos no de una manera precisa y totalmente adecuada, fenómenos en los que el ser humano muestra características únicas y diferenciales, como por ejemplo el lenguaje.

La otra aproximación que la neurociencia estuvo utilizando durante muchas décadas para entender nuestro cerebro fue el estudio de pacientes con lesiones

cerebrales. De esta manera sí podían estudiarse procesos mentales o cognitivos específicamente humanos, como el lenguaje, y es cierto que mucho, muchísimo de lo que sabíamos y aún sabemos sobre la relación entre el cerebro y el lenguaje humano se lo debemos al estudio de pacientes con lesiones que mermaban esta capacidad. Se trata de las conocidas como *afasias*, trastornos del lenguaje fruto de una lesión. Se descubrieron así las famosas y archiconocidas áreas de Broca y de Wernicke, nombradas así en honor a sus primeros descubridores, los neurólogos decimonónicos Paul Broca y Karl Wernicke. Que dichas áreas son específicas del ser humano, que se encuentran específicamente en el hemisferio cerebral izquierdo (salvo contadas excepciones, que las muestran en el derecho) y que son zonas especializadas en la articulación y secuenciación del mensaje lingüístico (área de Broca) y en el almacenamiento de las imágenes sonoras de las palabras y morfemas de nuestro vocabulario (área de Wernicke) lo sabemos gracias a estos y posteriores autores, que estudiaron con detenimiento cómo hablaban y entendían el lenguaje numerosas personas que habían tenido la desgracia de sufrir un accidente que había dañado sus cerebros. Esta aproximación al estudio del cerebro humano también ha servido para estudiar y conocer las bases cerebrales de otras facetas de nuestra mente con rasgos particulares en el humano, como las así llamadas *funciones ejecutivas* y que tienen que ver con la planificación, la organización, ordenación o el autocontrol, entre otras cosas. Pero por muy fructífera que haya sido y siga siendo esta manera de conocer el cerebro humano, aún es incompleta y no está exenta de discusiones. Entre otras cosas, siempre estará el problema de que no estaríamos estudiando un cerebro íntegro, sino uno que ha sufrido un daño físico importante y que, por lo tanto, se puede y se debe haber reorganizado, estructural y funcionalmente, de una manera diferente a como lo hacen los cerebros intactos. Sabríamos mucho de cerebros dañados, pero no necesariamente tanto del resto de cerebros.

Pues bien, esas técnicas que supusieron un enorme avance lo hicieron posible gracias a que nos permiten estudiar tanto la anatomía como la actividad (fisiología o funcionamiento) del cerebro en personas, en seres humanos, vivos y sanos. Sin lesiones. Y, lo que es más importante, mientras realizan actividades cognitivas, o de otra índole, que tienen que ver con lo más especial e idiosincrático del ser humano. Nos estamos refiriendo a la *resonancia magnética*, y a su aplicación o derivada, la resonancia magnética funcional. Tras más de un siglo estudiando el cerebro en humanos con lesiones, o animales con rudimentos funcionales de nuestras características mentales -en el mejor de los casos- por fin, a partir de la década de 1990, podíamos estudiar el cerebro humano vivo y de manera no invasiva.

No es que antes no hubiera opciones. De hecho, como ejemplo notable, la *electroencefalografía*, técnica a la que llevo dedicado más de 30 años, nace en los años 20-30 del siglo XX. Esta técnica nos permite estudiar, desde el exterior, la actividad eléctrica de las neuronas (que es electro-química). Pero tiene el problema de que su resolución espacial no es tan buena como la de la resonancia magnética. De hecho, suele dar una orientación aproximada de por dónde en el cerebro pueden estar ocurriendo las cosas, pero en una aproximación no muy precisa. Es más, la aproximación podría ser incluso falaz, es decir, el origen de lo que estamos viendo podría estar de hecho muy lejos de donde parece que se produce. Y esto no mejora mucho más con una técnica que mide el mismo tipo de actividad, pero en su vertiente magnética -la *magnetoencefalografía*-, algo menos susceptible a errores de localización espacial, sí, pero con riesgo igualmente alto de equivocarnos. Esto no ocurre con la resonancia magnética. Es cierto que tanto para la electroencefalografía como para la magnetoencefalografía se han diseñado algoritmos, fruto de un tremendo esfuerzo, que pretenden corregir estos errores de localización, pero el grado de incertidumbre y el número de soluciones espaciales alternativas siguen siendo muy altos. No obstante, estas técnicas que miden la actividad electromagnética del cerebro sin meterse dentro de él (son no invasivas, lo que es una enorme ventaja) sí nos dan datos muy precisos del momento en que ocurren muchos procesos cerebrales, con una resolución del milisegundo. Es decir, si bien su resolución espacial no es la mejor, al menos nos orientan de cuándo exactamente están teniendo lugar fenómenos importantes y diferenciales relacionados con la tarea o proceso mental que esté llevando a cabo el participante de nuestros experimentos. Esta información es de gran utilidad e interés, pero necesitaba de su localización espacial precisa -la que aporta la resonancia magnética- para tener una visión completa de la situación. En los últimos años, además, estas técnicas se han beneficiado de un elevado desarrollo técnico en cuanto al análisis de la señal cerebral. Cuando uno mira atentamente un trazado de un electroencefalograma (o un magnetoencefalograma), verá multitud de oscilaciones a diferentes frecuencias. El análisis computarizado de la señal, previamente digitalizada, sin embargo, es capaz de descubrir numerosos parámetros e increíbles patrones en esas oscilaciones. Podemos así encontrar cómo, y de manera dinámica, va cambiando la actividad cerebral en cuanto a relaciones funcionales entre sus diversas partes, con estimación de regularidades, desincronizaciones, acoplamientos, y un sin fin de medidas actualmente en desarrollo y estudio.

Por la mala o al menos insuficiente resolución espacial de la electroencefalografía y la magnetoencefalografía es por lo que fue tan providencial la aparición de la

resonancia magnética, y especialmente su derivada funcional, para estudiar el cerebro humano sano. Es cierto que por aquella época en la que salió a la luz esta técnica también avanzaron considerablemente otras con resultados, inicialmente, tan prometedores o similares. Tantos avances fueron fruto, sin duda, de la gran inversión económica que supuso la declaración de *Década del Cerebro* por parte del presidente norteamericano George Bush, que en julio de 1989 firmó una resolución legislativa que dio el pistoletazo de salida a una década, la de los 90, que sin duda marcó un antes y un después en la neurociencia (Blackemore, 2000). Pues bien, entre aquellos avances surgió también el notable desarrollo de una técnica, la *tomografía por emisión de positrones*, capaz igualmente de determinar -como la resonancia magnética funcional- los lugares del cerebro donde había aumentado especialmente el flujo sanguíneo en un momento dado, consecuencia del aumento en el número de sinapsis locales durante la ejecución de una determinada tarea y, por tanto, los lugares del encéfalo implicados en el desarrollo de la función mental o cognitiva asociada. Y ello con una resolución, también, como la resonancia magnética funcional, cercana al milímetro, al menos a medida que se iba mejorando técnicamente. Sin embargo, con el tiempo la resonancia magnética se impuso para estudiar el cerebro y su función en personas sanas, en experimentación. Por muchas razones. Entre otras, técnicas como la tomografía por emisión de positrones tienen el inconveniente de necesitar la inyección de una sustancia marcada radiactivamente, con el consiguiente posible riesgo (aunque en principio lejano y escaso) para la salud de los participantes de los estudios, además de las costosas y complejas necesidades de infraestructura para preparar dichas sustancias en el entorno del laboratorio o a una distancia adecuada para su uso científico.

Con el tiempo, además, la resonancia magnética, funcional o no, se ha desarrollado muchísimo. Hace no tanto tiempo, apareció la posibilidad de estudiar las conexiones intracerebrales, al menos las más evidentes de entre los billones que posee el cerebro, aquellas de medio y largo alcance y algunas de corto también. Es lo que se vino a llamar *tractografía* (pues determina los tractos o conjuntos de axones cerebrales) por *tensor de difusión*. Es esta una técnica que mide el curso que siguen las moléculas de agua dentro del cerebro, y estableciendo si siguen ciertos caminos consistentemente, determina la presencia de axones por cuyo interior se mueven dichas moléculas. Lo que este desarrollo está permitiendo medir y aportar, tanto al conocimiento de la anatomía y fisiología cerebral como al diagnóstico individual de posibles anomalías o alteraciones en las conexiones cerebrales individuales, está siendo impresionante. Pero, además, la resolución espacial de la resonancia magnética, tanto a nivel anatómico o estructural como

funcional, ha dado saltos de gigante desde el inicio de su desarrollo, con la década del cerebro. En los primeros tiempos de su aplicación funcional -la que indica la cantidad de flujo sanguíneo cerebral a partir del desequilibrio entre la hemoglobina oxigenada y la no oxigenada- esta opción necesitaba de aparatos con un imán de una capacidad (campo magnético) de al menos 1,5 Tesla. Esta capacidad era del doble en muchos aparatos de la época -aunque no tantos-, y su resolución espacial estaba por tanto en torno al milímetro en el mejor de los casos. En un principio se quería ser cauto y no desarrollar aparatos más potentes, e incluso no abusar de los de 3 Tesla. Surgieron voces que advertían de la posibilidad de que exponer un cerebro a una sesión de experimentación con un aparato de resonancia magnética de 3 Tesla podría ser equivalente a estar varias horas bajo el sol, que el cerebro podía alcanzar temperaturas elevadas y por tanto peligrosas para su salud o su integridad. Recuerdo aún cuando empezaron a desarrollarse sistemas de resonancia magnética de 7 Tesla en algunos laboratorios del mundo, siempre bajo la premisa de que sólo se usarían en experimentación, nunca con fines clínicos o de acceso al público en general, por los potenciales peligros de campos magnéticos tan altos. Es más, la mayoría de los voluntarios que participaban en experimentos con tecnología de campos tan elevados eran los propios investigadores del estudio. A los científicos nunca nos ha faltado el valor de probar nuestras propias ideas, aunque haya que correr algún riesgo. Las advertencias, sin embargo, pronto parecieron no ajustarse a la realidad, o al menos no hasta donde se había pensado que podían llegar los peligros de imanes tan potentes. Es lo que parece, por ahora. De hecho, es más, la potencia de los imanes de resonancia magnética con fines de experimentación en humanos se ha seguido incrementando. A día de hoy, cuando se escriben estas líneas, se han superado los 11 Tesla para su uso en humanos. Y la investigación continúa. Con imanes con campos magnéticos tan potentes la resolución espacial va mucho más allá del milímetro, llegando a las micras, y en estos momentos estamos siendo capaces de determinar al menos si las activaciones en una zona de la corteza cerebral se han producido en las capas superiores o inferiores de la misma con gran precisión. Esto era algo increíble hace tan solo unos pocos años. El futuro está aquí mismo.

La posibilidad de estimular zonas muy específicas de la corteza cerebral de personas sanas mediante campos magnéticos relativamente intensos y dirigidos al cerebro sin abrir el cráneo (es decir, de una manera no invasiva) también se ha unido en las últimas décadas a la tecnología que permite estudiar la función y la anatomía cerebral de personas sanas vivas. Es lo que se conoce como *estimulación magnética transcraneal*. Aunque sólo permita estimular o inhibir (paralizar

de manera reversible) la corteza cerebral, la capa más externa del cerebro, no deja de ser la parte más interesante del mismo, la más humana, la más “superior” desde el punto de vista de lo cognitivo. También se han desarrollado técnicas más económicamente asequibles para medir el flujo sanguíneo cerebral, y de una manera incluso portátil, como la *tomografía por emisión cercana a infrarrojos*. Su resolución espacial no obstante no es, ni de lejos, tan buena como la de la resonancia magnética, además de que el alcance de su estudio se limita a la corteza cerebral. Aunque esta sea de sumo interés, como queda dicho, no deja de ser limitante que sólo se pueda indagar en esa parte del cerebro. Pero su carácter nada invasivo, es más, su versatilidad a la hora de medir la actividad cerebral cortical con relativamente poca contaminación por artefactos de movimiento y otras actividades no cerebrales (gran problema de la mayoría de las técnicas que estamos comentando) permite su uso en segmentos de población hasta ahora poco o nada estudiados. Es el caso de los bebés recién nacidos. Estudiar un bebé en una resonancia, que requiere estar totalmente paralizado durante unos minutos, se convierte en una misión cercana a lo imposible. Aun así, se ha hecho, aunque de manera muy limitada. Sin embargo, la tomografía por emisión cercana a infrarrojos permite extraer datos bastante valiosos del cerebro de niños que apenas tienen unos minutos u horas de vida. Gracias a esto, estamos empezando a conocer con qué bagaje viene nuestro cerebro al mundo. Y es mucho, lejos de aquella “tabula rasa” que se postuló en su momento. El feto, en su desarrollo dentro del vientre de su madre, ha tocado, oído e incluso visto muchas cosas, y se ha movido; cuando nace, todo esto se nota. Así, uno de los hallazgos más relevantes de esta técnica fue ver cómo el cerebro del recién nacido reacciona de una manera especial y específica (en el hemisferio izquierdo y en áreas perisilvianas -de alrededor de la cisura de Silvio-, las que se van a especializar en el lenguaje en el curso de su desarrollo) a vocalizaciones en el idioma materno, mientras no lo hace a otras lenguas o al mismo idioma reproducido en dirección inversa (Peña et al., 2003). Estas y otras técnicas se han unido a las magneto-electroencefalográficas y de resonancia magnética para, entre todas, cambiar definitivamente el panorama de lo que sabemos sobre el cerebro humano sano, vivo y funcionando, y a prácticamente cualquier edad.

La Neurociencia Cognitiva

Todos estos desarrollos técnicos que he comentado hasta aquí están sesgados, tengo que admitirlo. Se refieren especial y particularmente a tecnologías que nos han permitido estudiar más y mejor la función y la anatomía cerebral con

relación a cuestiones de la cognición humana. Son avances de la neurociencia, sí, pero no de toda la neurociencia; tan sólo de aquella que a mí me compete y, en el fondo, más me interesa, la llamada *neurociencia cognitiva*. En el estudio del sistema nervioso, tanto el central como el periférico, que es en definitiva el objeto de la neurociencia, se han producido –qué duda cabe– otros grandes y relevantes avances tecnológicos en las últimas décadas. Pero quizá no tan significativos –para nuestra especie– ni tan sorprendentes como los acontecidos con relación al estudio del cerebro humano sano, vivo, y sin abrir la cabeza de las personas.

Es esta, la neurociencia cognitiva, una sección de la neurociencia que se centra especial, si no exclusivamente, en lo que tiene que ver con la cognición humana, con nuestro conocimiento. Es decir, aborda y se interesa por las bases neurales, biológicas, en definitiva, de la cognición humana. Y cuando hablamos de cognición hablamos de diversas cosas, se trata de un concepto bastante amplio. Quizá demasiado amplio. Cuando hablamos de cognición o conocimiento, la Real Academia Española nos da varias acepciones, y muchas de ellas son válidas para entender qué le interesa a la neurociencia cognitiva. Así, nos dice que el conocimiento es la *acción y el efecto de conocer*; y esto es muy importante, pues se utiliza el término *acción*, que será de la mayor relevancia para entender por qué el conocimiento del cerebro puede ser tan importante para la Educación. La Real Academia Española sigue definiendo conocimiento como *entendimiento, inteligencia, razón natural*, así como *noción, saber o noticia elemental de algo*. El conocimiento también se referiría al *estado de vigilia en que una persona es consciente de lo que la rodea*; a la consciencia, en definitiva. Como sinónimos de cognición o conocimiento, además, se proponen *entendimiento, discernimiento, inteligencia, razón, intuición, juicio*.

Pues sí, todo esto y mucho más es de interés para la neurociencia cognitiva. La combinación de la disponibilidad de técnicas potentes para estudiar la actividad y la anatomía cerebrales sin abrir la cabeza de nadie y el interés en estas cuestiones que llamamos “cognición” encendieron la mecha de algo que desde la década del cerebro hasta el momento actual no ha dejado de arder, no ha dejado de crecer y generar conocimiento de un enorme interés no sólo científico sino, también y especialmente, social. Recordemos que el ser humano está muy interesado por sí mismo.

Precisamente por esta disponibilidad de técnicas que nos permiten explorar el cerebro humano vivo y mientras se dedica a las más variadas funciones cognitivas

es por lo que se abrió la “caja de Pandora” respecto a temas que la neurociencia, la neurociencia cognitiva, podría tratar. Muchos temas que habían sido tabú hasta ese momento empezaron a ser objeto de estudio científico.

Uno de esos temas había preocupado a la ciencia y la filosofía desde hacía siglos: nada menos que la *consciencia*. Con total libertad, ahora podíamos estudiar la consciencia en seres humanos sin lesiones cerebrales, con sus funciones cognitivas y conscientes íntegras, y ver qué circuitos y de qué manera acompañaban esos procesos conscientes. El campo despegó de manera espectacular, y eso que a nivel conceptual aún no se había consensuado qué era eso de la consciencia. Quizá esto no era lo más importante, como dijo el Premio Nobel Francis Crick, quien se introdujo en este campo científico desde la biología molecular, dando un notable impulso y publicidad, con su entusiasmo y su ambición, a la neurociencia cognitiva. Por desgracia, este campo no está siendo nada fácil, la consciencia parece un tema escurridizo, más allá de la propia definición del concepto. Actualmente, hay varias propuestas acerca de las bases neurales de la consciencia, no todas ellas compatibles entre sí. Aún a pesar de ello, lo que ahora conocemos a este respecto es mucho más de lo que sabíamos antes del desarrollo de las tecnologías que auspició la década del cerebro. Es más, y complementando el estudio en humanos de este proceso cognitivo, numerosos autores se adentraron en la consciencia animal. La Declaración de Cambridge de 2012, en la que un grupo de sabios declara que la consciencia no es patrimonio exclusivo de la Humanidad y que la compartimos con otros muchos animales –mamíferos, pulpos, peces, etc.-, fue fruto de estos estudios. La muy reciente Declaración de Nueva York sobre la consciencia animal extiende esta virtud no sólo a los mamíferos, pulpos o peces, sino a los insectos también. La ciencia va avanzando en nuestro conocimiento del mundo, y en comprender mucho mejor nuestra posición y situación dentro del mismo. Es lo que, en su día, hicieron Copérnico o el mismo Darwin.

Pero si la consciencia es quizá el tema más peliagudo al que se enfrenta y se ha enfrentado la neurociencia, muchos otros han sido los campos de la cognición humana que han sido estudiados estas últimas décadas desde la actividad cerebral y que hasta hacía poco nadie se había atrevido a tocar. Se trata de conocer al ser humano en profundidad, de conocer lo más humano del ser humano. Si la consciencia ha resultado no ser patrimonio exclusivo de la humanidad, sino que incluso puede que la compartamos con los mosquitos, ¿qué otros temas podrían abordarse para entender lo peculiar del cerebro humano? Pues la respuesta es múltiple.

Uno de los más atractivos, precisamente, fue lo que se ha dado en llamar la *neuroestética*: el estudio de las bases cerebrales de ese comportamiento tan humano y, a la vez, extraño (porque en principio no es necesario para la supervivencia) que es el arte, la expresión artística. Siempre nos ha fascinado este comportamiento, fruto y, a la vez, testigo de la presencia de una mente “moderna” en el registro evolutivo, en la historia (y prehistoria) de la humanidad. Poder poner a alguien a contemplar una obra de arte, o incluso a realizarla, mientras se registra su actividad cerebral abría todo un abanico de posibilidades de exploración. Se entendió así cómo muchas áreas y estructuras cerebrales que tenían que ver con la regulación emocional y la monitorización de las funciones vitales del cuerpo, así como en la valoración de la importancia de las cosas, sean alimentos, bebidas, o incluso comportamientos, propios y ajenos, participaban en el arte. Este tipo de hallazgos ha permitido poner al arte en su sitio desde el punto de vista natural, más biológico o biologicista, más entroncado en la selección natural que en lo mágico y misterioso. Los trabajos indicaban que se aprecia el arte como se aprecian las situaciones biológicamente valiosas, como el alimento o incluso el sexo. Se ha podido así especular con que el arte surgió fruto de una selección sexual, en una especie donde los alardes sociales son la norma y la presión selectiva más relevante.

Otro aspecto curioso de la cognición humana que ha podido ser estudiado desde el punto de vista de la actividad cerebral ha sido la religión, la mentalidad religiosa, la tendencia del ser humano a creer, contra toda evidencia –o no- en seres trascendentes, inmateriales y omnipotentes (o al menos pluripotentes). La así llamada *psicología cognitiva de la religión* se vio enormemente enriquecida con los trabajos sobre la actividad del cerebro mientras tienen lugar procesos que tienen que ver con estas creencias. El campo ha avanzado mucho, en un enorme paso por conocernos mejor a nosotros mismos, y ha permitido entender que al cerebro humano no sólo le encaja perfectamente la existencia de seres superiores, en una especie de prolongación de la jerarquía social que está establecida en el mundo más terrenal, sino que además tiene una especial querencia por las violaciones de los principios físicos, biológicos y psicológicos que tanto aparecen en las narrativas religiosas, las llamadas *contraintuiciones*, y que resultan cognitivamente muy atractivas. Entre estas, y para que se entienda en qué consisten, morir y resucitar forma parte de las violaciones de los principios biológicos (aunque la ciencia más actual tiene muchos matices al respecto); atravesar paredes viola los principios de la física, y que una estatua de madera sea capaz de escucharnos y reaccionar o responder al respecto lo hace con los principios de la psicología. Pues bien, el estudio del cerebro ha permitido cons-

tatar cómo todos estos fenómenos cognitivos que parecen estar a la base de las creencias religiosas se procesan en los mismos circuitos y estructuras que ya estaban en el cerebro para abordar cualquier fenómeno de conocimiento del mundo, religioso o no, sin que parezca haber nada especial en nuestro encéfalo que explique estas creencias más que como fruto de un fenómeno social. Es decir, las religiones y las creencias que las sustentan serían consecuencia de consensos grupales, de interpretaciones y conceptos del grupo, originados en él e incluso impuestos por él. Es más, la neurociencia también ha permitido entrever que las anomalías de las narrativas religiosas, los milagros, la con-traintuiciones, son tratadas por el cerebro en modo metafórico, como si fueran metáforas. Por eso las acepta como digeribles, como aceptables, sin quizá saberlo en muchas ocasiones, como posibles en la realidad de este mundo. Al final, de nuevo y una vez más, la religión se ve como un fenómeno natural de nuestro cerebro, libre de oscurantismos o explicaciones mágicas y misteriosas que tan poco armonizan con el pensamiento crítico y científico.

Los avances tecnológicos que han permitido avanzar a la neurociencia, y específicamente a la neurociencia cognitiva, también han permitido ahondar en el conocimiento de algo que tradicionalmente se había considerado muy poco o nada cognitivo (realmente, contrapuesto), muy poco o nada humano, más bien salvaje y digno de ignorar o de pasar página sobre ello si queremos conocer la mente humana en todo su esplendor: las *emociones*. Gracias a la neurociencia, a los avances conseguidos mediante las técnicas de estudio de la actividad neuronal impulsadas por la década del cerebro, hoy tenemos una visión mucho más compleja y completa de lo que son las emociones, de su papel y lugar dentro del cerebro y la cognición humana. Es más, según las últimas propuestas desde la neurociencia, y al hilo de lo que vamos sabiendo sobre el cerebro, las emociones y la cognición parecen indisolubles, prácticamente una y la misma cosa. Y, además –y esto sí que parece con-traintuitivo- sólo los seres humanos tendríamos emociones. Los animales sólo tendrían “afectos”, es decir, rudimentos mentales y fisiológicos de lo que, más completo, complejo y categorizado en los humanos se manifiesta como emociones. Cada vez que comento esto último, la mayoría de mis interlocutores me miran escépticos. Y si tienen mascotas como perros o gatos (especialmente aquellos), negar que los animales tengan emociones les resulta muy chocante. Yo les entiendo, pero hay que entender también las propuestas científicas en toda su complejidad y detalle. Pero vayamos por partes. Por un lado, es cierto que cuando analizamos el cerebro y sus conexiones respecto a las estructuras neuronales implicadas en situaciones afectivas o emocionales y situaciones más puramente cognitivas (atención, memoria, razo-

namiento, toma de decisiones...) vemos una alta imbricación, no solo conexión, un alto solapamiento entre las estructuras que subyacen a ambos mundos, el emocional y el racional. Todos hemos visto cómo la emoción y la cognición se han situado, siempre, en el sistema límbico y la corteza cerebral, respectivamente. Dos mundos aparentemente distintos y anatómicamente separados y separables, lo que confirmaría lo que la intuición siempre ha supuesto. Pero la realidad nos muestra, primero, que ambos sistemas están estrechamente interconectados, que es sólo una sinapsis lo que los separa, que no podemos afectar a uno de ellos sin afectar al otro, en ambos sentidos, en ambas direcciones. Que ambos, el supuesto sistema emocional y el cognitivo, trabajan siempre (o casi siempre) en paralelo y conjuntamente. La otra realidad que nos muestra el estudio del cerebro es que tanto en el sistema (mal) llamado límbico como en la corteza cerebral encontramos estructuras, áreas, que muestran doble naturaleza, afectiva y racional. En definitiva, que el cerebro, el cerebro humano, es afectivo y cognitivo a la vez.

Lo que estas propuestas neurocientíficas más recientes acerca de las emociones nos dicen también es que tenemos verdaderamente emociones cuando una compleja red de estructuras neuronales se active en última instancia. Es la llamada *red del modo por defecto*, porque se descubrió que, cuando “no hacemos nada”, es esta red, este sistema, el que activamos principalmente. Es una colección de áreas mediales frontales y parietales, así como de las porciones anteriores bilaterales del lóbulo temporal y del giro angular (el encuentro entre los lóbulos occipital, parietal y temporal) que funcionan síncronamente, a una frecuencia muy baja (el ciclo retorna cada varios segundos, en torno a diez segundos por término medio) y que resulta que explica muchas cosas, y de las más elevadas, del cerebro humano. Tal es así que tendremos que hablar de ella de nuevo más adelante, especialmente cuando nos centremos en la protagonista de esta historia, la neuroeducación. Dicha red presenta caracteres únicos en nuestra especie, nos distingue como humanos: la más parecida es la de los chimpancés, pero en estos ni es tan amplia, ni tiene el predominio izquierdo de los humanos (posible consecuencia de la lateralización de nuestro singular lenguaje), ni tiene tan inmensa cantidad de activación en un nodo de esta red que en un momento se llegó a conocer como “área parietal misteriosa medial”, dada su participación en las más enrevesadas y superiores funciones cognitivas.

Pues bien, esa red por defecto sería la que en última instancia nos daría las emociones humanas. Consideraría, por un lado, lo que están haciendo las áreas tradicionalmente consideradas como emocionales o, ahora más bien, afectivas, que informan del estado del cuerpo, de las reacciones del mismo a los diversos

análisis, procesos y cálculos (generalmente inconscientes) que han realizado diversas estructuras, corticales o no, acerca de la situación experimentada. Por otro, también tendría en cuenta datos obtenidos de la memoria, de experiencias anteriores; sí, de nuestra experiencia, de nuestro conocimiento, así como lo que dicen las estructuras perceptivas (con sus diferentes grados de profundidad) respecto a lo que está sucediendo en este momento, a un nivel más cognitivo y quizá menos “visceral”. Con todo ello, la situación se categoriza por parte de la red por defecto y se determina que estamos teniendo una emoción (ahora ya sí, más que un afecto) con su nombre específico: alegría, tristeza, enfado... Los animales, al no poseer una red por defecto como la nuestra, ni los términos lingüísticos que etiquetan las categorías que ella descubre y determina, sólo se sentirían bien o muy bien, o mal o muy mal, lo que no llegaría a ser en sí una emoción sino algo menos definido y específico. Y así es cómo los animales no tienen emociones y nosotros sí.

Estas propuestas tan recientes a cerca del cerebro y las emociones son, de nuevo, de enorme utilidad para conocernos a nosotros mismos un poco mejor. De hecho, la importancia de esa red por defecto para lo que nos hace humanos, siendo una red que no se conocía como tal hasta hace apenas 20 años y que está tremendamente en boga en estos momentos, se va incrementando día a día. No la perdamos de vista. Entre otras cosas, cuando dos personas conversan, sus dos redes por defecto trabajan conectadas, sincronamente; sus lentísimos ritmos están armonizados y acoplados. Es más, y sin salirnos de las emociones, ya desde hace un tiempo se constataba cómo las emociones más abstractas, más sociales, más humanas, en definitiva, como el orgullo, la vergüenza o la culpa, tenían en esta red por defecto su principal correlato neurofisiológico. Todo cuadra, pues, con estas actuales propuestas acerca de las emociones y el cerebro humano. Unas propuestas que van más allá de la constatación de cuáles son las estructuras nerviosas que acompañan a nuestras emociones, ya que las definen en sí mismas, nos dicen cuál es su verdadera naturaleza y su relación con otros muchos procesos y actividades que realiza nuestro cerebro, especial y particularmente (y sorprendentemente) los cognitivos, los más superiores en este sentido.

Y es que, precisamente, si hay un concepto, una cognición, un proceso mental y cerebral por antonomasia en el cerebro humano, ese es el *yo*. Y resulta que ese “yo” que tanto hemos estado buscando en el cerebro está en esa red por defecto que tanto nos está sorprendiendo. Esa red, por tanto, no sólo es necesaria para tener las emociones que sentimos los seres humanos, sino para tener un sentido del yo, un lugar en el cerebro desde el que le damos un tinte personal a todo lo

que hacemos o sentimos. Efectivamente, cuando revisamos exhaustivamente las estructuras cerebrales que tienen que ver con eso que llamamos “yo”, encontramos que las mayores protagonistas son, o suelen ser, partes notables de la red por defecto humana. Las pruebas para esclarecer el lugar del yo en el cerebro no son sencillas. Se suele utilizar la instrucción de imaginar o dilucidar situaciones vividas por uno mismo frente a situaciones vividas por otros, incluidos los amigos, por aquello de controlar la familiaridad. Otra opción es presentar imágenes de uno mismo, de un amigo o familiar (la familiaridad) y de un desconocido, o bien objetos propios y muy personales (nuestro teléfono móvil, nuestro coche) frente a los de amigos o desconocidos y ver cómo el cerebro ha procesado cada uno de estos estímulos. Y al final, lo que se ve, es que especialmente las zonas mediales (las que están entre ambos hemisferios cerebrales) frontales y parietales de la red por defecto constituyen o procesan aquello que llamamos “yo”. ¡Qué situación tan interesante! No hay un homúnculo, un “hombrecillo” en el cerebro que represente al yo. Lo hay, sí -y es muy conocido- para representar la piel de nuestro cuerpo y nuestros músculos, para sentirlos y moverlos; pero no es aquí donde estoy “yo”, representación más abstracta de mis peculiaridades, de mis gustos, de mis deseos y proyectos, de mis reacciones, de mis vivencias. No hay homúnculo para el verdadero yo, sino que éste está inserto en un sistema personalizado que me permite entender la realidad emocional en última instancia y conectar y sincronizarme con otras personas cuando estamos haciendo una tarea o viviendo una experiencia conjuntamente. Curiosamente, una de las partes de ese sistema cerebral del yo, que a su vez es parte de la red por defecto, la que antes hemos dicho que se ha denominado “área parietal misteriosa medial”, es la más aislada del mundo exterior de todo el cerebro. Para que se entienda, es la más alejada de las áreas primarias que reciben información directamente de los órganos de los sentidos (tras pasar en muchos casos por el tálamo) o que envían sus eferencias a los sistemas motores que mueven el cuerpo. Sería, pues, algo así como la autoridad más alejada de sus súbditos, el resto del cerebro está organizado en jerarquías de menor a mayor integración, estando esas zonas mediales parietales en lo más alto de la cúspide. Siguen siendo estas un gran misterio, y a esto se añade el que es muy probable que en la evolución de nuestro género hayan sufrido un desarrollo último y ulterior sólo con nuestra especie, *Homo sapiens*. Si comparamos nuestro cráneo con el de los demás homínidos (miembros del género homo), incluido el de nuestros parientes más cercanos, los neandertales, constataremos que aquél muestra un abultamiento parietal en la vertical que es muy compatible con un aumento de esta estructura (conocida también como la combinación del precúneo y el cíngulo posterior) que no habría tenido lugar en los demás miembros de nuestro género evolutivo.

¿A dónde nos lleva todo esto? Puede parecer complejo de entender, pero es bien sencillo, y más si tenemos en cuenta algunos datos más sobre el sistema por defecto. Entre estos, resulta que cuando se han analizado en el cerebro las áreas donde están los significados de las palabras que conocemos, el lugar donde mayoritariamente se encuentran nuestros conceptos y conocimientos semánticos, es precisamente esta red por defecto. Es cierto que otras diversas zonas de la corteza cerebral también participan de los significados de las palabras; casi podríamos decir que la totalidad de la corteza participa de aquellos. Es algo que creo que entenderemos mejor cuando profundicemos en la neuroeducación, pues son conceptos y datos sumamente importantes para entender el proceso educativo y madurativo del cerebro humano. Pero, en última instancia, las estructuras de la corteza cerebral -esa capa superficial que tanto se ha extendido en nuestra especie- tienen en lo más alto de la jerarquía organizativa y de conocimiento a la red por defecto. Así, pues, donde nos lleva todo esto es a entender que el “yo” no es sino otro más de esos conceptos, un mero apartado de nuestro conocimiento, pero no una entidad aparte e independiente del resto del cerebro. No hay un espacio exclusivo para el yo en nuestro cerebro, sino que está junto con nuestro conocimiento de los demás y del mundo que nos rodea. Ese yo que tanto nos intriga puede no ser sino un artificio del lenguaje, a partir del cual podemos elucubrar, y especular muchas cosas, claro.

La Neurociencia del Lenguaje y el Cerebro que Interactúa con el Mundo

Nos vamos acercando ya al tema central de esta exposición, la neuroeducación. Pero antes debemos hacer un alto en el camino y considerar lo que hemos visto hasta aquí sobre neurociencia cognitiva y sobre la evolución de ésta gracias al advenimiento y desarrollo de nuevas técnicas para estudiar el cerebro humano vivo e intacto. Vamos así a hablar de un proceso cognitivo de primer orden probablemente una de las claves de lo que nos ha hecho y nos hace humanos y que, lógicamente, tendrá un papel relevante en la educación. Hablemos del lenguaje.

En ciencia suele haber varios “modelos” o interpretaciones de una misma realidad. A veces, estos son complementarios, o al menos no son incompatibles; pero muchas veces sí lo son, aunque -afortunadamente- sus diferencias son normalmente respecto a pequeños detalles. Sea como sea, la existencia de varios modelos para interpretar qué y cómo es *el lenguaje humano* y cuáles son sus relaciones con el cerebro -aspecto este muy importante precisamente para entender

su naturaleza- es un hecho, y entiendo que esto es algo que suele molestar a mis alumnos cuando tengo que desarrollar toda una asignatura dedicada a la *psicobiología del lenguaje*. Los alumnos (y yo recuerdo que lo fui en su momento) quieren que les demos "la verdad", que nos dejemos de recorridos históricos y de la existencia de diferentes puntos de vista. Los datos son los datos, ¿cuáles son los datos? Por desgracia o, más bien por suerte (pues son estas cosas las que hacen el trabajo científico divertido e intrigante), nunca podemos estar seguros de nada y las hipótesis y teorías cambian y evolucionan con el tiempo. Unos mismos datos se pueden interpretar de diversas maneras, dependiendo de nuestro modelo y punto de partida. Queridos alumnos: lo siento y, a la vez, me alegro -por vosotros y por nosotros- de que esto sea así.

Pues bien, podemos contar con unos cinco o seis modelos destacados acerca de la realidad cerebral que subyace al lenguaje humano. Es cierto que en muchos aspectos se solapan, coinciden. Al fin y al cabo, están hablando del mismo fenómeno mental o psicológico, de nuestro comportamiento, a la vez que están hablando del mismo cerebro. No debería haber mucho espacio para la discrepancia. Pero la hay, especialmente en los matices. De esa apenas media docena o menos de modelos, hay uno que me gusta mucho, que creo que aporta muchísimo al conocimiento del lenguaje, del cerebro y del ser humano y que, precisamente, quiero traer aquí. Es un modelo al que dedico mucho espacio en la asignatura mencionada, en relación a la importancia que creo se merece. Nos servirá también para pasar a entender mejor por qué la neuroeducación puede ser de enorme utilidad en el proceso educativo, más allá de dar una base biológica teórica al proceso educativo.

El modelo del lenguaje que quiero destacar aquí se lo debemos a Michael T. Ullman, de la Georgetown University, y se conoce como *modelo declarativo/procedimental del lenguaje* (Ullman, 2016). Lo que nos dice este modelo, por encima de todo (ya anticipo el corolario), es que el lenguaje humano, con sus particularidades y enigmas, con su idiosincrasia y sus misterios, es una facultad -una capacidad- del ser humano que no ha aparecido en cualquier sitio, no se ha montado de la nada, no es cosa de magia. Tiene sentido evolutivo cómo y dónde ha aparecido, la naturaleza misma del lenguaje. El lenguaje humano surgió, sea cual sea su razón de ser (comunicativa o cognitiva, según las controversias actuales a este respecto) en un cerebro que ya estaba ahí desde mucho antes y que hacía otras muchas cosas, tenía sus funciones (prelingüísticas, podríamos decir). Un cerebro que estaba -y está- para interactuar con el mundo, con la realidad. E interactuar significa tanto recibir como dar; percibir e interpretar el

mundo exterior e interior y ejercer una influencia sobre él, actuando con nuestro sistema motor -musculoesquelético- o de otras maneras.

El modelo se da cuenta de algo sustancial, y es que el lenguaje humano se ajusta a los dos grandes sistemas de memoria con que cuenta nuestro cerebro. Se ajusta como un guante. Yo he dicho muchas veces, y en esto sigo a mis maestros, que el cerebro es memoria; y la memoria en el cerebro está en las conexiones. Nacemos con unas neuronas con conexiones en gran parte predeterminadas, y estas se van ampliando, multiplicando, modificando y reajustando en base a la experiencia. Es la memoria de la especie, con la que nacemos (incluso antes del nacimiento estaría ya establecida), y la memoria individual, ontológica, la que a partir de aquella desarrollamos. Y si la memoria lo es todo en nuestro cerebro, o al menos es lo más definitorio y básico, que el lenguaje humano, esa facultad tan extraordinaria, haya tenido que adaptarse a cómo es nuestra memoria no deja de ser no sólo fascinante, sino una advertencia, un dato a considerar, si queremos ayudar cuando el lenguaje no se desarrolla adecuadamente, o cuando queremos aprender otros idiomas. El ejemplo del modelo declarativo/procedimental del lenguaje nos va a dar ya un atisbo de en qué medida será de gran ayuda conocer el cerebro para mejorar el proceso educativo, de qué manera la neuroeducación es una maravillosa y necesaria rama de la ciencia. Lo voy a explicar en detalle.

Como hemos dicho, en el cerebro humano imperan dos sistemas de memoria distintos, y me estoy refiriendo a una clasificación según el *contenido* de lo recordado, no según su duración temporal. Es esta una propuesta de la década de 1980 que llegó para quedarse, y que debemos fundamentalmente al psicólogo Larry R. Squire. Los dos sistemas o las dos memorias son la memoria *declarativa* y la memoria *procedimental*. La primera la podemos identificar como la referida al almacenamiento de datos, de unidades de información que uno puede transmitir enteramente mediante, por ejemplo, el lenguaje. Es una información generalmente consciente, y el que se pueda contar o transmitir en su integridad verbalmente es lo que determina su nombre, pues se puede “declarar”. Toda la información necesaria es transmisible de unos seres humanos a otros, al menos en general. Este tipo de memoria, la declarativa, es en realidad lo que la mayoría de la gente entendería por memoria: cuando hablamos de recuerdos, normalmente hacemos referencia a información que tenemos en la memoria declarativa. Dentro de la memoria declarativa cabe distinguir dos tipos o categorías de recuerdos. Por un lado, está la llamada *memoria episódica*. Se trata aquí del recuerdo referido a un episodio, a una experiencia específica, a una escena, una situación muy concreta, una vivencia que podemos situar en el tiempo y en el espacio. La cena de mi

último cumpleaños, anécdotas que sucedieron en mi último viaje, o la escena en la que doy esta lección inaugural son parte de esta memoria episódica. El otro tipo de memoria declarativa es conocido como *memoria semántica*. Ahora se trata de conocimientos generales, no particulares. Ya no hablamos de “la cena” de aquella ocasión, sino de todas las cenas, del concepto mismo de cena. Sabemos que cenar es algo que se hace tarde en el día, que comemos determinados alimentos y solemos evitar otros (como los de digestión más pesada), que solemos hacerlo en casa, etc. Es de aquí de donde salen los significados de las 40 o 50 mil palabras que los adultos tenemos en nuestro diccionario mental. Ya estamos viendo por dónde el modelo declarativo/procedimental del lenguaje entronca el lenguaje con los sistemas de memoria. Pero no anticipemos ideas. Así, pues, en la memoria declarativa, de conocimientos que podemos declarar, tenemos recuerdos acerca de una cena concreta (memoria episódica) y de lo que es más o menos común a todas las cenas de mi vida (memoria semántica). De hecho, la semántica no es sino una elaboración, una construcción a base de extraer patrones y generalidades a partir de las particularidades de la memoria episódica.

Por otra parte, el otro tipo de memoria se conoce como *procedimental*. Aquí ya no se trata de información o datos que podamos transmitir esencialmente de una persona a otra mediante el lenguaje y de la que seamos enteramente conscientes, se trata de otro tipo de contenidos, caracterizados fundamentalmente por cambios en la conducta, en nuestro comportamiento. Nuestro comportamiento cambia como consecuencia de la memoria procedimental, es lo más destacable de este tipo de memoria. Para que se entienda, mejor un ejemplo. Un caso paradigmático y muy conocido (pero no el único) de memoria procedimental es el aprendizaje de destrezas: aprender a conducir, a montar en bicicleta, a escribir, etc. Aquí no nos pueden transmitir toda la información en una sola ocasión y mediante el lenguaje. Nos pueden dar indicaciones, consejos que podemos más o menos entender. Pero cómo se hace para mantener el equilibrio en una bicicleta, o cómo se hace para mantener apretado el embrague con el pie mientras cambio de marcha con la mano y, a la vez, manejo un volante y miro por los espejos y al frente es algo que, por mucho que nos lo expliquen con todas las palabras de nuestro diccionario mental no seremos capaces de asimilar. Lo esencial, lo necesario, no formará parte de nuestra memoria (memoria procedimental) hasta que lo hayamos practicado por nosotros mismos y, por lo general, en diversas ocasiones –una vez no suele ser suficiente-. Existen otros tipos de memoria procedimental, más allá del aprendizaje de destrezas; pero sin duda este es el ejemplo más ilustrativo. Algo que conviene destacar aquí respecto a este tipo de

memoria es que es de carácter inconsciente, lo que llaman *implícito*. Por eso, por no ser explícito, es por lo que este tipo de información no la podemos transmitir, debe adquirirla por sí solo el individuo que quiera poseerla.

Los dos sistemas de memoria, el declarativo y el procedimental, además, se basan en dos modos diferentes de operar, curiosamente. Así, para la memoria declarativa, basta muchas veces una sola exposición al acontecimiento para que yo recuerde ese episodio toda mi vida. Si algo en mi cerebro –generalmente la amígdala- ha decidido o determinado que el acontecimiento o vivencia es de especial interés, es decir, posee cierto tono emocional, enviará una señal al hipocampo para que este ponga en marcha un mecanismo –la potenciación a largo plazo- mediante el cual los circuitos que se han activado con la experiencia se activen repetidamente y se consoliden como un recuerdo. Pero el individuo, al menos voluntariamente, no tiene que hacer nada, bastará con que lo que va a ser un recuerdo lo experimente una sola vez, no tendrá que repetírselo voluntaria y conscientemente para recordarlo. La memoria procedimental, por el contrario –ya lo hemos dicho- necesita de la repetición del acto en varias ocasiones: practicar, practicar, practicar y practicar. Tras esto, no sabemos cómo ni de qué manera -no sabríamos contarlo- algo se modifica en nuestro cerebro de modo que seremos capaces de realizar la acción mucho mejor que cuando empezamos; con maestría, con competencia, con destreza. Con facilidad. Y sin saber cómo.

Ya tenemos las dos memorias, una que necesita una simple exposición al dato y otra que necesita de repetición. Una que es explícita y la otra que es implícita. Recordemos que el cerebro es memoria, que somos memoria. Pues bien, vayamos ahora al lenguaje, al lenguaje humano. Veremos cómo es esa facultad a la que tanto debemos, y veremos que vino a instaurarse, a hacerse sitio, en un cerebro que ya contaba con esos dos sistemas de memoria.

Una definición simple, quizá un tanto extraoficial, de lo que es nuestro lenguaje, podría ser algo así: consiste en palabras y reglas. Por palabras podríamos decir, más correctamente, morfemas, o unidades con significado, que no siempre son palabras: están los prefijos (ej., “ex”), los sufijos (muy informativos, como una simple “s” en la terminación de una palabra para denotar que es en plural), las raíces de muchas palabras, y otra serie de elementos lingüísticos. Pero, simplificando, podemos pensar en palabras. Palabras y reglas. Por reglas nos referimos ya a las instrucciones para combinar y secuenciar las palabras. Palabras, pues, y reglas de combinación de esas palabras. Las reglas nos dicen si una combinación es posible, o cómo tenemos que combinar y secuenciar las palabras (o

los morfemas) para transmitir correctamente determinadas ideas y que se nos entienda, sin ambigüedades. Aunque sobre el lenguaje, como sobre cualquier materia objeto de estudio científico, siempre hay controversias, acerca de lo que es, de cómo es, o de sus funciones, prácticamente la totalidad de los autores estarán de acuerdo en que el lenguaje depende básicamente de esos dos procesos, de esas dos capacidades: de las palabras –o morfemas- y de las reglas. A la primera habilidad la llamamos *léxico*, o diccionario mental (vocabulario, podríamos decir; glosario, o listado de palabras o morfemas), mientras que a la segunda la llamamos sintaxis (o gramática, según qué acepciones; se incluiría la morfosintaxis como parte de la misma). Bien, pues vemos ahora cómo se definen y se describen, desde la psicolingüística, ese léxico y esa gramática o sintaxis.

El léxico mental estaría compuesto de información memorizada, incluyendo toda información idiosincrática y específica. En el mismo se encontrarían los pares sonido-significado arbitrarios del lenguaje (no sólo de las palabras, sino también de los afijos y otras partículas lingüísticas; de los morfemas, en definitiva). Esto de los pares sonidos-significado es muy importante; es la base de nuestro diccionario mental. Pero no es lo único que constituye nuestro léxico. En él estarían también las irregularidades del lenguaje. Por ejemplo, que del verbo *caber*, la primera persona del singular rompe una regla y que en concreto debe decirse “quepo” y no “cabo”, como sonaría si aplicáramos la regla. En el léxico también se incluiría algo muy curioso, pero muy interesante y necesario, conocido como las *propiedades de subcategorización de los verbos*; es decir, si un verbo necesita o no objeto o complemento directo, complemento indirecto, o incluso sujeto. Como ejemplo de este último caso, el verbo *llover* no necesita sujeto, y basta decir “llueve” para emitir un mensaje lingüístico correctamente formado. El verbo “agarrar” necesita alguien que agarre y algo que es agarrado, mientras que “dar” necesita además alguien a quien se da (algo, por alguien). Finalmente, en el léxico también se incluyen estructuras lingüísticas complejas cuyo significado no es realmente el literal. Baste de ejemplo la expresión “caballo de batalla”, para referirnos a situaciones o circunstancias en las que ni hay un caballo ni ocurren en el fragor de una batalla.

Por su parte, la gramática mental incluiría las regularidades del lenguaje. Serían las reglas que determinan cómo las formas léxicas (palabras, morfemas) se combinan. Son reglas que se mueven en tres posibles niveles, aunque los dos primeros están muy relacionados y podríamos decir que es uno mismo. Un nivel sería el sintáctico, un conjunto de reglas para construir correctamente frases y oraciones. Decir que “he plantado una seca planta” se entiende, pero no es del

todo correcto: la combinación o secuencia más correcta sería “he plantado una planta seca”. Otro nivel de las reglas es el morfológico, el que se aplica para componer adecuadamente las palabras de acuerdo a normas gramaticales. Así, para componer palabras a partir de una raíz y de un sufijo para construir un plural debo además respetar ciertas normas, como que el plural de “camión” no es “camions” sino “camiones”. Raíces y sufijos se guardan en el léxico y mediante reglas realizo las combinaciones adecuadas. Por último, la gramática mental incluye también reglas a nivel fonológico, ya que en cada idioma existen normas acerca de qué combinaciones de sonidos son lícitas y cuáles no. Por ejemplo, “askholmen” no suena muy castellano (por curiosidad, es el nombre de un mueble de Ikea).

Es importante señalar que la información del léxico la podemos declarar: la podemos describir, contar, de manera explícita, consciente. Y transmitirla en su totalidad y de una sola vez. Las reglas gramaticales sin embargo las conocemos de manera implícita, inconsciente. Conocemos las reglas gramaticales de nuestra lengua materna no porque nos las hayan enseñado de manera explícita, sino porque hemos practicado en multitud de ocasiones; hemos escuchado miles de oraciones y las hemos pronunciado. Sí, definitivamente: las dos habilidades del lenguaje, léxico y gramática son un paralelo de los dos sistemas de memoria del cerebro, el declarativo y el procedimental, respectivamente. Es más, el léxico hace uso de áreas temporales de asociación en la corteza cerebral, para almacenar los sonidos de las palabras o morfemas que conocemos, así como de zonas específicas de la corteza que tengan que ver con el contenido de los significados (ej., áreas de procesamiento del color para el significado de los colores); está haciendo uso, en definitiva, de estructuras que utiliza la memoria declarativa. Por su parte, la gramática hace uso de regiones de asociación motora, en la parte inferior del lóbulo frontal, así como de regiones parietales que sirven para orientar y monitorizar la posición del cuerpo en el espacio y en relación a objetos, además de estructuras subcorticales, como los ganglios basales, que son también parte relevante de nuestro sistema motor. Igual que la memoria procedimental.

¿Qué enseñanzas podemos extraer de todo esto, del hecho de que el lenguaje humano se haya adaptado a los sistemas –ancestrales, prelingüísticos- de memoria del cerebro? Pues muchas cosas importantes. Por ejemplo, podemos entender mejor cómo es el desarrollo del lenguaje. Esto, para el educador, puede ser de enorme importancia. Así, tenemos que mientras la memoria declarativa es algo en crecimiento constante a lo largo de la vida de un individuo, siempre va en aumento (cada vez acumulamos más conocimientos, hemos experimentado más situaciones), el vocabulario, el léxico también es algo que aumenta con el tiempo

(o al menos debería hacerlo), no es estático. Un niño de 18 meses maneja entre 5 y 20 palabras; con 2-3 años son ya unas 450 palabras; a los 3-4 años, 1.000; a los 5-6 en torno a 2.000... y así hasta las 40 o 50 mil por término medio de un adulto, que nunca dará por cerrado su diccionario. Siempre habrá palabras nuevas que aprender. Por otra parte, la mayoría de las destrezas se aprenden en los primeros años de vida: la memoria procedimental se suele estabilizar temprano y no suele mejorar con la edad. Salvo quizá conducir, y pocas destrezas más, la mayoría de nuestras habilidades motoras han sido aprendidas en nuestros primeros años de vida. Lo mismo ocurre con la sintaxis. Todo esto es de suma importancia para el educador, pues así puede entender no sólo el ritmo normal del desarrollo del lenguaje y su idiosincrasia, sino detectar posibles alteraciones del mismo de manera más eficiente y comprensiva, o plantear sistemas o procedimientos para tratar o paliar dichas anomalías en el desarrollo. No hay nada como entender un fenómeno en su esencia, comprender su verdadera naturaleza, para poder abordarlo mejor, para poder dominarlo. Un ejemplo que suelo poner respecto a la utilidad práctica de este conocimiento que la neurociencia pone a disposición del mundo de la educación tiene que ver con la enseñanza de idiomas en particular. Si la sintaxis, la gramática, es algo que, como parte de la memoria procedimental que es, tenemos que aprender practicando y practicando (escuchando y hablando), que no nos pueden explicar de manera explícita (salvo comentarios excepcionales o indicaciones sobre lo correcto o incorrecto de una emisión lingüística), entonces ¿qué sentido tiene que, cuando aprendemos un segundo idioma, pongan nombres a las formas y estructuras verbales que estamos aprendiendo a decir y utilizar? Es como si pretendieran que yo tuviera en mi cabeza que si quiero decir “¿Me puedes ayudar?” debo tener presente que la estructura sintáctica en este tipo de oraciones consiste en combinar “verbo modal + sujeto + complementos”, de manera que “can you help me?” es correcto, pero “Can help me you?” no lo es. Las reglas gramaticales de mi idioma materno no las aprendí así; es más, en la mayoría de los casos no sabría explicar (explícitamente) cuáles son, por qué una oración dicha de determinada manera es correcta, pero de otra no. Deberíamos aprender otros idiomas de la misma manera. El léxico, explícitamente. La gramática, simplemente practicando.

La Neuroeducación: una oportunidad para mejorarnos a nosotros mismos

Creo que con lo que llevamos visto hasta aquí, ya podemos entender la utilidad, la contribución y la pertinencia de la neuroeducación. Ya podemos entender lo que verdaderamente es (y no es) esta disciplina científica, y por qué puede ser

de enorme utilidad para mejorar el proceso educativo. Profundicemos, en lo que sigue, en el concepto de neuroeducación y lo que esta nos enseña –o nos va enseñando- que pueda ser de utilidad para mejorar el acto o proceso educativo.

Como no existe una definición oficial de lo que la neuroeducación es, ni por parte de la Real Academia Española ni de ninguna institución que la represente o avale específicamente, vamos a intentar definir en qué consiste esta disciplina de una manera muy sencilla y que creo de acuerdo con lo que todo el mundo podría entender por neuroeducación. La neuroeducación -también conocida como neuropedagogía o neurodidáctica, entre otros nombres- se trataría de *la disciplina científica que persigue aplicar lo que la neurociencia sabe a mejorar el proceso educativo*. No creo que aquí haya o pueda haber mucha discusión, la verdad. Esto implicaría dos cosas: conocer el sistema nervioso y conocer cómo es el proceso educativo, e integrar ambos mundos. Nada menos, un gran reto.

Un insigne y apreciado (en lo profesional y lo personal) catedrático de Fisiología de esta Universidad, el Profesor Francisco Mora, lleva años escribiendo exitosos ensayos sobre la neuroeducación (ej., Mora, 2013, 2024). Para Mora, la neuroeducación no es algo secundario, prescindible, no es ningún entretenimiento para satisfacer el deseo de conocimiento y la curiosidad del ser humano. No. Para el Profesor Mora, desde el momento presente y mucho más de cara al futuro, el educador debe conocer, obligatoriamente, cómo es el cerebro -el sistema nervioso-: cómo se desarrolla, cómo se constituye, cómo procesa y organiza el conocimiento, cómo interactúa con el mundo. En una frase cabal y contundente que oí de labios del Profesor Mora, parafraseando a la también neurocientífica Leslie A. Hart (1983): *Enseñar sin saber cómo funciona el cerebro es como querer diseñar un guante sin nunca antes haber visto una mano*.

Creo firmemente en esta afirmación. Es, entre otras cosas, parte de lo que me mueve y me impulsa a seguir manteniendo todo el entusiasmo para enseñar sobre el cerebro y el sistema nervioso a los futuros maestros y pedagogos, algo que llevo haciendo desde hace casi 25 años.

Sin embargo, por muy cargada de razón que parezca dicha afirmación, por muy evidente que nos parezca que la neuroeducación es una disciplina realmente necesaria, por muy obvio que nos resulte que conocer el cerebro es de gran utilidad para mejorar el proceso educativo, no todo el mundo estaría de acuerdo en que esto es así. En este sentido existe un enconado debate, abierto desde hace años, respecto a si realmente es útil la neurociencia para la educación, si aquélla aporta

algo de utilidad para ésta (ej., Ansari et al., 2011; Mora, 2013). El debate no está cerrado del todo, pero, como pretendo en algún escrito (Martín-Loeches, 2015) y sigo defendiendo, se podría ir dando por zanjado. La neurociencia tiene mucho que aportar a la educación, y en el futuro aún tendrá mucho más que aportar a este campo tan importante del desarrollo social, cognitivo y emocional del ser humano. Veamos cuáles son los argumentos y reflexionemos a este respecto.

Por un lado, es cierto que, como claman ciertos autores (e.g., Willingham, 2009) neurociencia y educación hablan dos lenguajes distintos y tienen objetivos distintos, de manera que parecen pertenecer, lógicamente, a dos mundos distintos. Sin duda, esta ha debido ser, precisamente, una de las razones para un posible desencuentro. Como consecuencia de esta situación, autores como Janet Zadina proponen la creación de una especialidad en la que los profesionales que salgan sean a la vez neurocientíficos y educadores (Zadina, 2015). Esto implicaría, necesariamente, una formación amplia, profunda y suficiente en neurociencia, junto con la realización de prácticas reales y abundantes de enseñanza en las escuelas, en la realidad educativa. Esta autora propone por tanto una formación como *neurocientífico educativo*, una titulación de la que nuestra sociedad podría obtener, según esta autora -y coincido con ella-, grandes beneficios. Pero, mientras esta titulación cobra cuerpo o se establece, no sería necesario seguir esperando a un futuro para ver cuáles pueden ser los beneficios que la neurociencia aportaría a la educación. Ya están presentes. Zadina afirma que existen toda una serie de conocimientos que ya se han alcanzado por parte de la neurociencia y que pueden tener ya beneficios directos en las políticas educativas y en los currículos de los alumnos.

No me cabe duda de que la educación se debe ver beneficiada por lo que la neurociencia sabe hoy día acerca del desarrollo del cerebro, de las diferencias entre *períodos críticos* y *sensibles*, por ejemplo. Los primeros se suelen dar en los primeros años de vida de un individuo y se trata de periodos de la vida en los que la estimulación es crucial para el desarrollo del sistema nervioso. Son ventanas temporales de oportunidad necesarias para el buen desarrollo del cerebro, periodos en los cuales, si se carece de la estimulación suficiente y conveniente, se estará produciendo un daño irreversible (de ahí lo de "crítico") en el cerebro en desarrollo. Si, nada más nacer, impedimos que un gatito reciba estimulación por sus ojos y le mantenemos así durante sus primeras semanas de vida, al destaparle sus ojos el gato se habrá convertido en un gato ciego, para toda su vida y de manera irreversible. Si esto mismo lo hacemos con un gato adulto, al destapar sus ojos éste seguirá viendo como antes del experimento. En edades

más avanzadas del desarrollo también veremos períodos de gran relevancia para adquirir conocimientos, ventanas de oportunidad, aunque no tan críticos, de ahí que se denominen períodos sensibles. Los efectos de la falta de estimulación en estos períodos no son tan irreversibles, aunque no haber usado estas ventanas de oportunidad hará más difícil el correcto desarrollo del cerebro. Ciertos aspectos del desarrollo del lenguaje son ejemplos de lo importante de estos períodos sensibles, y por eso aprender un segundo idioma de adulto no es imposible, pero sí más difícil que en la infancia. Además, nuestra destreza en esa segunda lengua no será tan buena como en un nativo.

La neurociencia enseña, además, que la maduración cerebral se da en distintos momentos para las distintas regiones. Esto es especialmente relevante, en el caso humano y respecto a la educación, en cuanto a la corteza cerebral. Un buen ejemplo de cómo los procesos más básicos (perceptivos y motores) se desarrollan en primer lugar y de que se necesita de su correcto y completo desarrollo para fundamentar conocimientos y etapas de desarrollo subsiguientes lo tenemos en la aparición de trastornos del desarrollo del habla y de la lectura -ej., la dislexia- como consecuencia de estas carencias (Goswami, 2015, 2022). Efectivamente, la calidad de la información que consideramos básica será determinante en el desarrollo posterior de procesos escolares tan relevantes como la alfabetización, y la dislexia, por ejemplo, puede producirse por alteraciones en la maduración y desarrollo de las estructuras básicas implicadas en la percepción de los sonidos, algo en principio totalmente ajeno a la lectura, pero con notables consecuencias en la misma. La neurociencia también ha permitido establecer que la maduración cerebral en el humano abarca las dos primeras décadas de vida. Ni más ni menos. Es cierto que el cerebro cambia a lo largo de toda la vida, pero lo que podemos considerar maduración no estará completa hasta los 20 años, quizá algo más (algunos autores hablan de 25 años). Para Sebastián Lipina y su equipo (ej., Fracchia et al., 2020), por ejemplo, la relevancia de esta cuestión es capital para las políticas educativas y de prevención del fracaso escolar y el desarrollo cognitivo y emocional del niño.

En definitiva, creo, junto con otros muchos autores, que no es necesario esperar más, que ya hay suficiente conocimiento útil acumulado desde la neurociencia que es ya de enorme utilidad para la educación. Es ilusionante, además, pensar que el futuro de la neurociencia educativa, de la neuroeducación, se vislumbra como sumamente fructífero y prometedor. En lo que sigue, de hecho, voy a tratar de sintetizar los conocimientos generales que creo que la neurociencia pone a disposición del educador y que debería (o al menos convendría que así fuera)

tener presentes, tener en mente, durante su noble labor. Casi 25 años de experiencia dedicado activamente a transmitir conocimientos de neurociencia a futuros educadores serán condensados aquí. Y cuando digo activamente dedicado me refiero no sólo a la actualización continua que todo docente debe hacer de sus conocimientos y sus programas y contenidos docentes, sino, en mi caso, a la búsqueda incesante de qué conocimientos específicos de la neurociencia pueden ser beneficiosos, útiles e incluso necesarios en el proceso educativo.

Neuroeducación: Cerebro, Educación, Aprendizaje. O cómo conocer ha de hacerse a través del cuerpo

Efectivamente, para conocer el mundo hay que tener en cuenta el cuerpo. En realidad, casi tanto o más que el cerebro, ya que este no es sino un órgano al servicio de aquel, un esclavo para la supervivencia del cuerpo. El cuerpo es quizá lo más importante, evolutivamente hablando, pues es a través de él que se deja descendencia. Y es a través de él que se obtiene conocimiento y que se actúa sobre el mundo, sobre la realidad externa.

Se trata de un avance científico de la psicología que no está exento de polémica. Lo llaman *cognición corpórea* (*embodied cognition*) y es una propuesta que está o ha estado muy de moda en psicología en las últimas décadas que viene a decir que nuestro conocimiento se asienta sobre las estructuras cerebrales implicadas en la relación del cuerpo con el mundo exterior. Nuestro conocimiento sería, así, algo más bien mundano, físico, tangible, externo y externalizable. La otra propuesta, la propuesta contraria, y que también ha sido la clásica en psicología casi desde sus orígenes científicos y filosóficos, viene a decir que nuestro conocimiento es en realidad una representación abstracta y arbitraria del mundo, sin relación directa (ni casi indirecta) con el mundo exterior tangible. El formato de representación de nuestro conocimiento, según esta segunda opción, sería amodal, es decir, alejado e independiente de cualquier modalidad (entendiéndose por estas, por lo general, la visual, auditiva, táctil, olfativa, gustativa y motora). A esta segunda opción se le conoce como representación *simbólica* del conocimiento. Son dos formas aparentemente opuestas de entender cómo representamos (almacenamos, manejamos) nuestro conocimiento del mundo en el cerebro, y de ambas se derivan consecuencias relativamente distintas para entender nuestra cognición. Y, por ende, nuestra educación. El estado actual de la cuestión es que,

en realidad, ambas visiones tienen algo de verdad. En realidad (yo así lo veo) podríamos decir que habría una especie de continuo, desde lo más corpóreo y mundano, tangible y físico, hasta lo más abstracto y alejado del mundo. Pero -atención, pues esto es importante- nunca tan alejado del mundo como para que pertenezca a otro mundo. No debemos olvidar nunca que el conocimiento, por muy abstracto que sea, viene a través de las interacciones del cuerpo con el mundo, y por lo tanto las representaciones más abstractas serán siempre representaciones del mundo obtenidas a través del cuerpo, de los sentidos y de sus sistemas motores. Cuando observamos el cerebro, de hecho, vemos que está dividido en dos grandes partes, dos grandes realidades: la perceptiva y la motora, con sus diferentes grados de abstracción. No hay nada más en el cerebro. Así es como está organizado, así es como la selección natural lo ha dispuesto. Ambas realidades, además, están fuertemente interconectadas entre sí, aunque estén separadas físicamente. Funcionan, de hecho, al unísono, como una unidad. Expliquemos esto en detalle.

La concepción tradicional de nuestro conocimiento, la concepción simbólica, venía a decir que ese conocimiento es independiente del mundo exterior, de nuestros sistemas perceptivos y de nuestros sistemas motores. Sería, así, un conocimiento codificado y en un formato distinto del utilizado por el cerebro para que el cuerpo interactúe con el mundo. Así, por ejemplo, en el cerebro existirían áreas o estructuras especializadas en que podamos interactuar con una pelota. Por un lado, corteza receptiva o perceptiva que representaría la forma de la pelota, sus colores, su tamaño, sus movimientos, su sonido al golpearla, el tacto cuando la cogemos, y tantas otras posibles experiencias que nos llegarían por los sentidos cuando interactuamos con tal objeto. Por otro, áreas corticales especializadas en manipular y actuar con y sobre la pelota: en golpearla, cogerla o lanzarla con las manos, o darle patadas con mayor o menor intensidad. Pero estas no serían las estructuras verdaderamente responsables de conocer lo que es una pelota. Todas ellas, las regiones corticales perceptivas y las motoras en relación al objeto al que nos estemos refiriendo (la pelota) conectarían, en última instancia, con otras regiones corticales donde estaría representado ese conocimiento abstracto y amodal, ese conocimiento simbólico de lo que es el mundo (la pelota). Sería también con esas zonas de representación simbólica del mundo con las que conectaría nuestro lenguaje, es decir, no lo haría directamente con las que interactúan con la realidad exterior. Así, cuando yo oigo “pelota”, tras reconocer esa palabra, ese sonido de palabra, mis neuronas auditivas accederían directamente al conocimiento abstracto de lo que es una pelota sin pasar por las estructuras cerebrales que tienen que ver con lo que se hace con una pelota.

Esta perspectiva simbólica es, como decíamos más arriba, la tradicional. Es decir, estaría basada en gran parte en un conocimiento del cerebro previo al advenimiento de las técnicas de imagen cerebral que hemos revisado en la primera parte y que supusieron una revolución para la neurociencia cognitiva. Cuando, usando estas técnicas, estudiamos el cerebro respecto a cómo y dónde almacena su conocimiento, encontramos que la parte simbólica no es en sí tal, no se encuentra en ninguna parte definida que podamos referir como amodal, arbitraria o ajena al mundo exterior. En realidad, el cerebro es todo él una máquina dedicada a representar el mundo exterior y a actuar sobre él. No habría verdadera amodalidad. Toda la realidad tiene que ver con los sentidos y con cómo nuestro cuerpo realiza acciones en el mundo exterior. Así, siguiendo con el ejemplo de la pelota, el conocimiento de la misma se representaría directamente, por un lado, en la corteza perceptiva que representaría la forma de la pelota, sus colores, su tamaño, sus movimientos, su sonido al golpearla, el tacto cuando la cogemos, y otras tantas posibles experiencias perceptivas relacionadas con una pelota; y, por otro, con las áreas corticales especializadas en manipular y actuar sobre la pelota. Estas, sin intermediarios, serían ahora -bajo esta perspectiva- las estructuras verdaderamente responsables de conocer lo que es una pelota. A este conocimiento senso-motor vendría a añadirse algo que hace años se denostaba en la psicología pero que con el tiempo ha venido a verse como crucial, fundamental para nuestra cognición: las emociones asociadas con lo que es una pelota. Efectivamente, el conocimiento no se representaría únicamente en zonas cerebrales perceptivas y motoras, sino también en las estructuras neurales relacionadas con el procesamiento afectivo. Cada experiencia que conforme un concepto, un contenido conceptual o de conocimiento, iría ligada a unas emociones, a unos afectos, a unas sensaciones que formarían también parte de ese conocimiento. Sin intermediarios simbólicos. El lenguaje, lógicamente, accedería directamente a este conocimiento corpóreo. Es decir, sensorial, motor y emocional. La incorporación de las emociones al conocimiento no es un asunto secundario. De hecho, cuanto más intensa, integral y completa sea la información (sensorial y motora) respecto a un objeto o realidad, más contenido emocional tendrá esa experiencia, ese conocimiento. Las emociones no sólo formarían así parte de éste, sino que además allanarían el camino para el aprendizaje y memorización, pues lo emocional –ya lo hemos dicho- facilita enormemente que las experiencias (el conocimiento al fin y al cabo) se consoliden en la memoria, conformen recuerdos.

Es interesante comentar alguna de la evidencia que condujo a cambiar la perspectiva simbólica tradicional por otra más corpórea. Tras décadas conociendo

el funcionamiento de la corteza cerebral humana a partir de los datos de personas con lesiones, cuya localización es siempre arbitraria y caprichosa, muchas veces mixta o contaminada entre varias regiones funcionalmente divergentes, el estudio de dónde en el cerebro se localizarían los significados de las palabras mediante resonancia magnética funcional vino a mostrar que no hay una “zona para los significados”, como habría predicho la perspectiva simbólica, sino varias. Muchas, en realidad, tantas como características definen el concepto o el objeto referido. Así, resultados muy interesantes se obtuvieron por parte del grupo de Friedeman Pulvermüller (revisados en Pulvermüller, 2013) cuando analizaron dónde se encontraban los significados de palabras relacionadas con los animales, con las herramientas o con diversos verbos. Los significados relacionados con animales involucraban en gran medida áreas sensoriales, principalmente del sistema visual. Las herramientas, curiosamente y sin embargo, implicaban zonas visuales y, principalmente, motoras, ya que lo que los significados implican son más bien las acciones que se realizan con ellas más que las percepciones visuales de las mismas. Algo parecido podríamos decir de la gran mayoría de los verbos, ya que implican acciones que realizamos con los sistemas motores del cuerpo. Curiosamente, cuando el verbo se refería a una acción que realizamos con las piernas o los pies, como “correr”, “pisar” y similares, el significado se representaba en gran parte en las zonas de la corteza que representan las acciones y sensaciones táctiles de las piernas. Lo mismo ocurría, de manera correspondiente, lógicamente, cuando el verbo se refería a acciones realizadas con brazos y manos (agarrar, escribir, apretar, etc.), ya que implican las representaciones corticales (para acciones y sensaciones táctiles) de manos y brazos. Cuando los verbos se refieren a lo que hacemos con la boca, como masticar, hablar o sonreír, eran las zonas de cara y boca las principalmente implicadas en su significado. El intermediario simbólico parecía no existir, el significado implicaría directamente a los sistemas de interacción del cuerpo con el mundo.

Sin duda, el lenguaje parecía acceder directamente al conocimiento no-verbal obtenido a través de las interacciones del cuerpo, del individuo, con el mundo. Sin intermediarios, sin tener que acceder previamente a una información codificada y a la vez alejada -en su formato- de la información necesaria para entender el mensaje lingüístico. El camino inverso, hipotéticamente sería el que se seguiría a la hora de hablar, de emitir un mensaje lingüístico. El pensamiento estaría basado en el conocimiento adquirido y almacenado en los sistemas motores y perceptivos del cerebro, y a partir de ahí se activarían las palabras necesarias y se ordenarían en base a reglas sintácticas también imbricadas en dichos sistemas senso-motores (este tema, el de la corporeización de la sintaxis del lenguaje,

es un tema específico aparte pero relacionado, lógicamente, con la cognición corporeizada general que estamos tratando).

En realidad, la visión “corpórea” del conocimiento, es decir, que todo en el cerebro se divide en dos grandes funciones y nada más, las funciones perceptivas y las motoras, hunde sus raíces en antiguas tradiciones neurocientíficas o neuropsicológicas. Es decir, no se lo debemos a las actuales técnicas de imagen fruto de la revolución que supuso la década del cerebro de los años 90, sino que se originaron bastante antes; lo que ocurre es que estas técnicas, con su versatilidad y su prolijidad, a la par que su generosidad a la hora de proporcionarnos datos, han venido a confirmar dichas tradiciones y a ponerlas de relieve y en primer plano. Como digo, dicha separación del cerebro en los dos grandes mundos, sensorial y motor (y nada más) arrancaba de propuestas que tienen ya cerca de un siglo, y que encontraron entre sus más destacados valedores al neuropsicólogo y neurocientífico cognitivo ruso Alexander R. Luria (Aleksandr Románovich Lúriya, 1902-1977), cuya obra (entre la que destacamos y recomendamos *Las funciones corticales superiores del hombre*, publicada en 1962 -véase referencia, Luria, 2019-) ya hablaba de esa gran división, según la cual en el cerebro habría dos grandes “unidades” de funcionamiento: la unidad sensorial y la unidad motora. La línea que separaría ambos mundos, además, estaba muy marcada y muy clara desde el punto de vista anatómico: la cisura central, o de Rolando, en la corteza cerebral. La unidad sensorial estaría ubicada en las partes posteriores de la corteza cerebral a partir de esa cisura central, y abarcaría así los lóbulos parietal, occipital y temporal del cerebro. Por otra parte, la unidad motora se encontraría en toda la corteza cerebral ubicada hacia la parte anterior, desde la cisura central; es decir, el lóbulo frontal. Curiosamente, ese esquema según el cual la parte posterior es sensorial y la anterior es motora, también se sigue a lo largo de la médula espinal, y parece por tanto un patrón organizativo muy marcado y destacable de nuestro sistema nervioso. Luria también puso de relieve algo que va a ser fundamental para lo que nos trae aquí, para la neuroeducación, y es la existencia de las llamadas *áreas primarias* y *áreas de asociación*, tanto en la unidad sensorial como en la motora, ya que el conocimiento en el cerebro está organizado jerárquicamente y en función de estos tipos de áreas. Ahondemos en esto.

Luria y los neurocientíficos de la época dividían la corteza cerebral en *áreas primarias, secundarias y terciarias*, lo que en la actualidad se menciona más frecuentemente (y respectivamente) como *áreas primarias, de asociación unimodal y de asociación heteromodal* (o multimodal). Las primarias se llaman así porque serían las primeras en recibir la información procedente de los sentidos, en el

caso de la unidad sensorial, aunque serían las últimas en ejecutar las órdenes motoras que salen de la corteza cerebral en la unidad motora. Las áreas primarias sensoriales más importantes y representadas en la corteza cerebral serían las correspondientes a la vista, el oído y el tacto (entendido este en sentido amplio, pues son varios tipos de sensaciones somatosensoriales). Los otros sentidos, como el gusto, el olfato o el equilibrio, tienen representaciones más primitivas, más profundas y con sus mecanismos relativamente independientes. Centrémonos por tanto en la vista, el oído y el tacto. Estas sensaciones llegan a las áreas primarias de la unidad sensorial directamente desde el tálamo, donde han hecho relevo desde sus respectivos órganos sensoriales; respectivamente: la retina, la cóclea y los receptores somatosensoriales. La información llega allí, a las áreas primarias, en bruto, como parámetros icónicos, acústicos y hápticos básicos, sin analizar apenas, sin desgranar, sin clasificar. De esto ya se van a encargar las áreas de asociación. En la unidad motora, por su parte, las áreas primarias se van a encargar de dar las órdenes directas (con la intermediación de las así llamadas motoneuronas en el tronco del encéfalo y la médula espinal) para mover los músculos faciales y corporales, la musculatura estriada del cuerpo, la que nos permite realizar acciones y movimientos.

El conocimiento acumulado, principalmente (aunque no únicamente) va a estar en las áreas de asociación que, como hemos dicho, podemos dividir en unimodales y heteromodales. La diferencia entre las primeras y las segundas es que las unimodales se refieren a una modalidad (vista, oído, tacto, movimiento) y las heteromodales, a la integración de dos o más modalidades. Lo que hacen las áreas de asociación es algo muy sencillo, pero muy necesario para el conocimiento humano: integrar, extraer patrones; en definitiva, *abstraer*. La abstracción es la clave del conocimiento. Por eso me gusta destacar algo que creo que es muy importante tener en cuenta para entender qué nos hace peculiares a los seres humanos. Y es que la extensión de la superficie cortical dedicada a áreas de asociación respecto a las primarias es en nuestra especie muy considerable, muy notoria. Esto es parte de la respuesta a lo que nos hace humanos. Mientras en el cerebro de muchos mamíferos las áreas primarias son casi tan extensas, e incluso más, que las de asociación, en los primates son las de asociación las más evidentemente extensas, destacando significativamente en el ser humano. Por abstracción entendemos una organización jerárquica del conocimiento según la cual una representación general puede aplicarse a muchos particulares. Permite al cerebro procesar eficientemente la información a pesar de las limitaciones de memoria, y de hecho el cerebro busca constantemente abstraer, y el cerebro humano por encima de cualquier otro.

Para entender las diferencias entre lo que hacen las áreas primarias y las de asociación, tomemos como ejemplo el sistema visual. Allí, en las áreas primarias, lo que va a llegar es información en un formato parecido a los píxeles de un monitor: puntos distribuidos, con sus colores, líneas y orientaciones; sin reconocimiento del objeto. Digamos que es lo más parecido a una fotografía fiel de la realidad exterior (aunque, desde luego, esto no es sino una metáfora): cada silla (valga de ejemplo) genera su propia y específica imagen, con sus características más específicas, como el color, el material del que está hecha, el tipo de respaldo (que puede ser tremendamente variable), el número de patas (que también puede ser enormemente variable), su tamaño y altura, etc. No entenderemos que se trata de una silla hasta que no hayamos activado algo en las áreas de asociación (en este caso unimodales visuales) que represente a las sillas, a todas las sillas del mundo. Una esencia, un concepto, que no tiene imagen específica equiparable en el mundo exterior -no existe en ese mundo- pero que representa a todas las sillas del mundo y que se ha formado a partir de las decenas o cientos de sillas que hemos visto en nuestra vida. Quizá usando un ejemplo de la modalidad auditiva se entienda aún mejor. Cuando escucho hablar en un idioma del que no tengo ni idea, por ejemplo, en árabe o en chino (en mi caso particular), sus sonidos llegan a mis áreas primarias como lo hacen en el caso de las personas que entienden esos idiomas, analizando sus parámetros acústicos primarios. Pero en mis áreas de asociación unimodales auditivas no poseo patrones para identificar esos sonidos como palabras reconocibles. Por tanto, no pasará de ahí la información, se quedará en un puro estímulo auditivo carente de sentido. En el caso motor, las áreas primarias cerrarán o abrirán la mano, moverán arriba o abajo los brazos, mientras que las de asociación motoras contendrán programas para coordinar esos movimientos dotándolos de sentido: saludar, dar la mano, etc. Por supuesto, las áreas de asociación heteromodales, tanto sensoriales como motoras, lo que harán será integrar aún más la información de varias modalidades, llegando a grados de abstracción muy superiores, a información codificada en un formato muy alejado de la realidad de las áreas primarias. Pero basada en lo que ellas aportaron, es decir, no tan alejadas como para formar parte de otro mundo, de otra forma de información. Digamos que lo que hace el cerebro, desde sus áreas primarias hasta sus áreas de asociación heteromodal (pasando por las unimodales) es abstraer la información cada vez más, determinando diversos y cada vez mayores grados de abstracción. Si a los más abstractos queremos llamarlos información simbólica, podríamos admitirlo; pero debemos tener presente que el conocimiento, todo él -y no solo una parte- se distribuiría en todos estos grados de abstracción, no sólo en los de mayor nivel, y que estos no estarían separados y constituyendo una realidad aparte a la que

llamamos conocimiento. El conocimiento abarca todo tipo de formatos: desde las imágenes (visuales, auditivas o táctiles) más individuales y específicas, hasta las más abstractas. Es por todo esto que creo que es más conveniente hablar de abstracción que de representación simbólica, y que no debemos perder nunca de vista que en esto existen diversos grados.

El hecho de que nuestro conocimiento se almacene y codifique en base a abstracciones, y que en el ser humano las áreas del cerebro dedicadas a las abstracciones, las cortezas de asociación, sean proporcionalmente las más extensas de todas y con gran diferencia respecto a otras especies, nos pone en la pista para entender varias cosas. Entre ellas, que la capacidad de abstracción del ser humano no tiene parangón, no tiene paralelos en el reino animal. Somos capaces de entender realidades más abstractas que ningún otro animal, por más entrenamiento que pudiéramos darle (efectivamente, si es que pudiéramos), ya que su anatomía cerebral impondría sus límites. Un ejemplo práctico lo tenemos en nuestros conceptos lingüísticos abstractos. Frente a los llamados conceptos concretos, que se refieren a entidades que podemos señalar, mostrar o en cualquier caso hacer percibir directamente en caso de que nos preguntaran por ellos (ej., qué es una silla, un bolígrafo, una montaña o un pañuelo), los conceptos abstractos se refieren a realidades intangibles: belleza, amor, libertad, infinito, eterno... Estos conceptos abstractos se extraen de multitud de experiencias concretas, sí, y que han llegado por los sentidos; pero para las cuales no hay patrón perceptivo posible, deben de extraerse conocimientos e ideas, patrones, que no son ni visuales, ni auditivos, ni táctiles, ni motores.

La polémica respecto a si el formato del conocimiento en el cerebro es simbólico o corpóreo aún no está zanjada, es un tema muy candente. Prueba de ello es que en el momento actual se encuentran muchas evidencias que parecen ir en contra de la verdadera necesidad de esos formatos medianamente abstractos en los que se representa la realidad para poder entenderla. Por ejemplo, las tan traídas (y llevadas) neuronas espejo, tan de moda otrora para explicar todo tipo de fenómenos, se han propuesto siempre como necesarias para entender las acciones de los demás porque son las que, en nuestro cerebro, realizan dichas acciones (y al ponerlas en marcha al observar a alguien, entendemos mejor sus acciones e intenciones). La evidencia empírica más reciente, sin embargo, parece mostrar que esto no es así, y que se entiende lo que hacen los demás incluso cuando impedimos que nuestras neuronas motoras se activen. El hecho de que cuando escucho la palabra “correr” se me activen las zonas corticales sensoriomotoras de las piernas no implica que esas áreas sean necesarias para

entender lo que es correr; se puede entender este concepto sin aquellas activaciones, como muestran diversos estudios. Pero estas evidencias no zanján no obstante la cuestión. No hacen sino mostrar que los niveles de abstracción son muchos, son diversos, y que si algún nivel no tiene lugar -porque se impide su acceso o activación- siempre podremos acceder a otros formatos del mismo conocimiento y entenderlo, si quiera sea parcialmente. Lo más probable es que todos los niveles contribuyan a hacer la información más completa e integral, más útil, en definitiva, y que por tanto la visión corpórea de la cognición sea la más aceptable. Siempre y cuando entendamos que el conocimiento del mundo a través del cuerpo conlleva diversos grados de abstracción, no un todo-o-nada de simbólico vs. concreto.

Somos memoria, somos emociones. También somos gente

Efectivamente, para conocer el mundo hay que tener en cuenta el cuerpo. Y esto es sumamente importante para la educación, en tanto que proceso para entender el mundo. No se trataría, pues, de proporcionar al educando conocimientos abstractos que debe asimilar sin más. Debemos siempre, en la medida de lo posible, proporcionar experiencias directas, que empiecen y terminen por sus sentidos e involucren en todo momento a sus sistemas motores.

Uno de los neurocientíficos más reconocidos en tiempos recientes ha sido el investigador español Joaquín Fuster, que ha propuesto un modelo muy clarificador acerca de la organización del cerebro y que debemos tener en cuenta, igualmente, para un mejor proceso educativo, para un proceso educativo integral y que tenga en cuenta cómo es en verdad nuestro cerebro. Los principales principios de su propuesta se encuentran en muchas de sus obras y artículos (ej., Fuster 2003, 2009, 2013). De entrada, esta perspectiva retoma el testigo de propuestas como la de Luria, considerándose en gran parte como una continuación de aquellas. Así, el cerebro estaría principalmente dividido en las unidades sensorial y motora que predicara Luria. Pero Fuster añade más. Para empezar, considera que la mejor visión del cerebro es considerarlo como un sistema de memoria. Todo en él es memoria, de principio a fin. Si, como la neurociencia ha demostrado, la memoria está en las conexiones neuronales, aquellas con las que ya venimos al mundo serían básicamente memorias de la especie, memorias “filéticas”, determinadas en gran medida genéticamente y fruto de los millones de años que nos han precedido y que han establecido circuitos neuronales base sobre los que

construir el resto de las memorias. A partir de ahí (y ya antes de nacer) se irían estructurando nuevos y mayores circuitos, guiados en gran parte por la genética, sobre todo al principio, pero a la par -y cada vez con mayor protagonismo- por las experiencias personales e individuales de cada uno, por nuestra vida. Si memoria es sinónimo de circuitos neuronales, todo lo que iría haciendo el cerebro en la vida de un individuo, durante su construcción y desarrollo, es memoria. Somos, así pues, memoria. Nuestra personalidad, por ejemplo, que no es otra cosa que nuestra particular manera de actuar ante determinadas situaciones, no sería sino la consecuencia de cómo estén estructurados nuestros circuitos, de qué exactamente se conecta con qué, con qué fuerza o facilidad, y con qué otros circuitos que conlleven distintas alternativas. Nuestra personalidad se basa, pues, en cómo son específicamente nuestras conexiones. Y estas son memoria. Son fruto de las memorias ontogenéticas, que se han desarrollado e imbricado a partir de las memorias filéticas. Todo se lo debemos a la memoria. Podríamos decir que la construcción de un individuo (su personalidad, su experiencia, su conocimiento, su conducta) es un proceso de memoria. Y esto es algo que está en transformación constante.

Bien, somos memoria, y esta puede dividirse en los dominios o unidades sensorial y motora. Ahondando en esta idea, surge otro dato de tremenda importancia para entender el cerebro, el cerebro humano, y que destaca repetidamente Fuster: la acción y la percepción están inextricablemente unidas, forman una unidad. Ciertamente, la unidad sensorial y la unidad motora están físicamente separadas en dos lugares distintos y relativamente distantes. Recordemos: lo sensorial tras la cisura central o de Rolando, lo motor delante de esta. Pero ambas realidades se podría decir que son una y la misma cosa cuando constatamos que están fuertemente unidas por multitud de axones, en circuitos bidireccionales, es decir, que tanto las áreas sensoriales envían su información a las regiones motoras del cerebro como estas envían sus procesos no solo a los sistemas motores que en última instancia moverán el cuerpo, sino también a las zonas corticales mayormente implicadas en la percepción. Percepción y acción son así, en el cerebro, prácticamente una y la misma cosa, son inseparables, y no se entiende percepción sin acción, ni acción sin percepción. Si están separadas físicamente, en lugares distintos, es porque cada una requiere de sus particularidades de procesamiento para abordar sus complejidades, pero están continuamente escuchándose la una a la otra. Además, las relaciones entre la acción y la percepción respetan también las jerarquías de conocimiento que mencionábamos más arriba: las áreas primarias sensoriales se relacionan con las áreas primarias motoras; las de asociación unimodal perceptivas con las de asociación unimo-

dal motoras, y, por último, las heteromodales motoras y perceptivas también se relacionarían entre sí, con apenas relaciones con otros niveles de la jerarquía.

El ejemplo supremo de esto que acabamos de mencionar aquí, que lo sensorial y lo motor forman una unidad de funcionamiento, una unidad funcional, lo tenemos en la tremenda unión entre las áreas primarias somatosensoriales y las primarias del movimiento, del sistema motor. Ambas van prácticamente paralelas, separadas mínima y únicamente por esa cisura de Rolando o central que, precisamente, separa ambos mundos, el sensorial y el motor; sin esa cisura se diría que son una y la misma región de la corteza. En ambas regiones, el cuerpo se representa a lo largo de una disposición que guarda relación con cómo se disponen las distintas partes del cuerpo. Así, los pies se continúan con las piernas, estas con el torso, los brazos y manos y, finalmente, la cara. Se forma así, en la corteza motora primaria y en la somatosensorial primaria, un mapa del cuerpo pero que está invertido: los pies y las piernas arriba, la cabeza y los brazos abajo. Las disposiciones en el cerebro son de lo más curioso respecto al mundo exterior. Ambos mapas no sólo reciben o envían sus axones de o a las zonas corporales correspondientes (para sentir o mover, respectivamente), sino que en ambas funciones también reciben y envían axones que corresponden a la zona contigua: la sensorial envía señales motoras, y la motora recibe sensaciones. Sí, forman un sistema, un sistema senso-motor. Y, además, el mapa del cuerpo que encontramos muestra una particularidad que tiene la mayor relevancia para entender cómo es nuestra especie, un dato que debe necesariamente tenerse en cuenta en la educación. Un aporte, realmente, de la neuroeducación. El mapa es relativo; es decir, no guarda las proporciones del cuerpo, sino que las distintas partes de este se representan de mayor o menor tamaño en función de su mayor o menos importancia relativa.

Cuando miramos el mapa del cuerpo del ser humano, constatamos en seguida que hay dos zonas de su cuerpo que son extraordinariamente importantes, pues en relación al resto del cuerpo superan con creces toda su representación: las manos y la cara. Nuestras manos están enormemente representadas tanto en el mapa motor como en el sensorial, tan grandes o más que el resto del cuerpo, una representación grotesca que conocemos desde que la descubriera el neurólogo norteamericano Wilder Penfield. Esto es algo que podríamos categorizar como específicamente humano, una seña de identidad nuestra, y que pone de relieve las preferencias de nuestro cerebro a la hora de conocer e interactuar con el mundo. Así, como primates, tenemos el sistema visual bastante representado en la corteza cerebral. El sistema visual, el sentido de la vista, es realmente importante en nuestra especie, y gran parte de nuestro mundo se basa en lo visual,

qué duda cabe. Pero en esto no somos muy diferentes de los demás primates, que también -a diferencia de otros mamíferos- ven en colores y con una visión binocular (vemos bastante bien en tres dimensiones). Esto es consecuencia de nuestra antigua dieta frugívora (de ahí la importancia de ver en color, para localizar la fruta madura) y nuestra vida arborícola, pues la visión binocular es necesaria para desplazarse entre los árboles sin estrellarse continuamente. Pero la gran importancia de las manos no es un rasgo únicamente humano. Las manos, tanto en el primate como en el humano, están controladas principalmente por un sistema neural que parte de la corteza y va directamente a las motoneuronas que mueven los dedos, lo que permite la motricidad fina y voluntaria de estos. A este sistema se le conoce como sistema piramidal, y ya de entrada encontramos una diferencia entre humanos y primates: el sistema controla casi todo el cuerpo en nuestra especie, mientras que en los primates se circunscribe apenas a las manos y alguna otra parte del cuerpo. Sí, el humano es más grácil y preciso en los movimientos de todo su cuerpo que cualquier otro primate. Pero que el sistema piramidal lo encontremos también para las manos de nuestros parientes evolutivos no quiere decir que ellos manejen las manos como nosotros. Cuando miramos el mapa de representación senso-motora del cuerpo, las manos del chimpancé, el primate más cercano a nosotros, son grandes, sí, pero no tan inmensas como las humanas. Creo que este es un dato crucial a tener en cuenta en la educación: nuestro cerebro viene preparado para explorar el mundo con la vista, sí, pero, y de una manera decisiva y muy destacable, también con las manos. Cuando eduquemos, cuando enseñemos a los niños cómo es el mundo, permitámosles tocarlo. De lo contrario, el conocimiento será incompleto y no adaptado a sus cerebros.

Nuestra memoria, nuestros recuerdos, lo que somos, en definitiva, está también impregnado de emociones. Ya hemos hablado de éstas en algunas partes de este texto. Pues bien, un dato interesante a tener en cuenta también para la educación es que la mera sensación y la acción provocan emociones, especialmente placer, es decir, una emoción positiva. Así, los sistemas sensoriales están muy bien conectados con estructuras del sistema límbico, el sistema de las emociones, especialmente la amígdala y la corteza orbitofrontal, y esto en términos de una sola sinapsis. De esta manera, ver, escuchar, o tocar (sobre todo con las manos) activa nuestro sistema emocional. Recordemos que se memoriza mucho mejor aquello que conlleva un tono emocional. Lo mismo va a pasar con los movimientos. La conexión entre los ganglios basales, fundamentales para el movimiento coordinado, con las cortezas motoras primarias, y el sistema dopaminérgico, es no sólo bien conocida sino sumamente importante, y la dopamina

es precisamente uno de esos neurotransmisores que nos causan bienestar, satisfacción, ganas de actuar, de emprender, de explorar; quizá el más relevante en este sentido. Parece ser que el cerebro humano, respecto al de otros primates, abunda en dopamina; la dopamina tiene mucho de humano. No es de extrañar así que a nuestra especie le encante bailar, y desde que somos muy pequeñitos. Los niños muy pequeños bailan espontáneamente, sin que nadie les diga cómo lo tienen que hacer. Sienten gusto en el movimiento del cuerpo. Y quién no ha hecho garabatos mientras se aburría en una clase o en una reunión, o hablando por teléfono. El movimiento de las manos -ese órgano tan destacable del cuerpo humano para relacionarse con el mundo- es gratificante.

Si es así, lo que hagamos y experimentemos directamente lo retendremos mucho mejor en memoria y de una manera más integral y adaptada a la forma de ser y funcionar de nuestro cerebro que si nos lo cuentan o describen, que si nos lo explican en un manual o en un vídeo. Esto será algo también necesario a tener en cuenta para el proceso educativo.

Si las emociones tienen ese papel tan central y cardinal en nuestra conducta, y claramente en nuestra educación, ¿qué podemos decir de las emociones del ser humano? ¿tienen algo de particular que no veamos en otras especies y que debamos tener en cuenta en el proceso educativo? Pues sí, y esto es sumamente relevante, de nuevo, para la educación, y de hecho tiene que ver con lo que nos hace más humanos, con las razones por las que nuestra corteza cerebral se hizo tan extensa hasta el punto de permitir la existencia de nuestra educación, como también del lenguaje y otras tantas facetas tan peculiares de nuestro comportamiento. Las emociones más humanas tienen que ver con nuestro carácter social, *hipersocial* podríamos decir. Ciertamente, como demuestran numerosos trabajos, entre los que destacamos la obra de Robin Dunbar y sus colaboradores (ej., Dunbar, 2020; Gamble et al., 2018), la corteza cerebral en el mundo de los primates es tan extensa como se necesite en función del tamaño natural del grupo: a más individuos, más corteza cerebral es necesaria para almacenar la información relativa a todos ellos, como sus gustos, intenciones, capacidades o conocimientos, sus historias personales, nuestras relaciones con ellos y sus posibles reacciones futuras a lo que podamos hacer con ellos, o con otros miembros del grupo. De esta manera, nuestra corteza cerebral es realmente extraordinaria, como lo son los grupos naturales humanos, que destacan sobremanera respecto a la cantidad de individuos sobre los que podemos almacenar, manejar y manipular información. Es muy posible que, a lo largo de la evolución, nuestra corteza cerebral se haya ido haciendo más extensa simplemente porque la presión evolutiva dejó

de ser la comida o los depredadores, los recursos naturales. Llegó un punto en que lo importante era la posición dentro de la jerarquía social de un grupo que cada vez era más extenso. Esto aumentó el tamaño de nuestro cerebro y, con él, nuestras capacidades cognitivas.

Las consecuencias de estos procesos son múltiples. Una de ellas es que, siendo tan importante lo social como lo es para el ser humano, resulta que cuando analizamos el cerebro social y el emocional por separado, como se ha hecho (por grupos de investigación diferentes), finalmente sean muchos los puntos de convergencia. Dicho de otra manera: hace ya tiempo se constató que el así llamado *cerebro social* humano es prácticamente lo mismo que el *cerebro emocional*. Es decir, que lo emocional y lo social se solapan en gran parte, y que podemos decir que el cerebro humano es no solo social sino, con esto, también muy emocional. Y, precisamente, entre las emociones que más destacan en el ser humano, entre las emociones más humanas, encontramos las más sociales, las que regulan el comportamiento del grupo y del individuo dentro de éste: la culpa, la vergüenza, el orgullo o la envidia. Sin duda, debemos tener en cuenta este carácter tan social de nuestra especie en nuestra educación. De hecho, la educación no es la misma con y sin gente. Los ejemplos son numerosos, destaquemos siquiera algunos.

Es bien sabido, por ejemplo, que los niños llevan mucho mejor el ritmo a la hora de aprender un tema musical si lo hacen viendo un ser humano realizando la acción que tienen que aprender. Cuando sólo escuchan, por un altavoz, el ritmo que tiene que emular, su desajuste es frecuente, su pérdida de ritmicidad es grande, sus tiempos no son correctos. Si pudiéramos pensar que esto se debe a que no ven el brazo de la persona que realiza esos sonidos, y que por tanto pierden una pista visual necesaria para esta tarea, lo falaz de esta creencia se demuestra cuando exponemos al niño a un brazo articulado que realiza dichos movimientos. De nuevo, se producirán frecuentes fallos en la ritmicidad, en los tiempos de ejecución. Únicamente cuando tengan delante al maestro, al ser humano adulto que realiza la tarea a ejecutar, harán ésta competentemente, progresando rápidamente y mejorando notablemente su ejecución en el patrón exigido (Kirschner & Tomasello, 2009). También se ha visto que el aprendizaje de todo tipo de tareas y conocimientos es más eficiente (en cuanto a comprensión, memoria y transferencia, entre otros aspectos) cuando vemos al profesor, cuando nos lo explica una persona. Si no vemos al docente, si no presentimos que el profesor “está ahí”, que este nos acompaña, el aprendizaje es más deficiente, incluso aunque estemos escuchando exactamente las mismas explicaciones (sólo la voz) y con

las mismas imágenes gráficas de acompañamiento y explicación (Gu et al, 2024). También, curiosamente, se sincronizan mejor las miradas y la actividad cerebral entre los alumnos. Lo interesante, y esto lo podemos aplicar a la enseñanza que tuvimos que realizar durante los confinamientos por la pandemia de COVID19, con un profesor virtual que sea visible el efecto es similar al de la presencia del profesor real. No obstante, ambos (el real y el virtual) en estos estudios estaban presentes en un vídeo, es decir, no lo estaban físicamente. Y es que la presencia física, real, tiene efectos aún más marcados en la actividad cerebral y, por ende, en el proceso educativo.

A este respecto, no actuamos igual, ni tan siquiera usamos las mismas neuronas para realizar la misma tarea, cuando estamos solos que cuando estamos acompañados por alguien físicamente. La presencia física marca una diferencia. Esto es algo que no es exclusivamente humano. Recordemos que los primates son (somos) seres muy sociales, si bien en el ser humano esta característica se ha llevado hasta un extremo muy notable. Pues bien, se ha comprobado cómo los macacos, cuando realizan en solitario una tarea de memoria operativa visoespacial (por ejemplo) activan neuronas del córtex prefrontal y del cíngulo anterior distintas de las que actúan cuando están en compañía de otro macaco que, simplemente, está observando (Demoliens et al., 2017). Son las diferencias entre las llamadas “neuronas sociales” y las “neuronas asociales”, y este es en parte el fundamento del llamado “efecto de la mera presencia”, muy conocido e importante en el comportamiento humano, pues el rendimiento de una persona, en numerosos tipos de tareas, no es el mismo si está solo que si está acompañado, aunque el acompañante o acompañantes no desempeñen ningún rol activo en la tarea que se está llevando a cabo. En nuestro laboratorio, por ejemplo, hemos sido capaces de observar cómo las neuronas que activamos para procesar la información sintáctica y semántica no son las mismas al realizar tareas lingüísticas en solitario que al hacerlas acompañado de otra persona. En este último caso, parece que son neuronas relacionadas con áreas de asociación perceptiva, estructuras que tienen que ver con el conocimiento semántico y la plausibilidad, las preferentemente utilizadas incluso para procesar estructuras estrictamente sintácticas, en un modo de abordamiento más bien heurístico (frente a uno analítico) de procesamiento del lenguaje (Hinchcliffe et al., 2020). La contrapartida, extrapolando estos resultados a lo que sabemos sobre estas estructuras, es que acompañados seríamos más creativos y menos estrictos a la hora de procesar un mensaje lingüístico. Efectivamente, la presencia de otras personas es importante, y la presencia real especialmente. Tengamos muy presente la naturaleza social de nuestro cerebro en el hecho educativo. Muy recientemente se ha constatado, una

vez más, la importancia de lo social en la memoria y el aprendizaje: las escenas donde aparecen personas se recuerdan mucho mejor, independientemente de su valencia, de la intensidad con la que activan el sistema nervioso autónomo y la atención general (arousal), del interés por el contenido de lo que aparece en la escena, e incluso de la familiaridad con lo representado (Jimenez & Meyer, 2024). Cuando todo esto se somete a control experimental, la mera aparición de personas, de seres sociales, en una escena relativamente compleja hace que los distintos elementos de esa escena y sus relaciones se recuerden más y mejor. Es curioso constatar, además, cómo este efecto de lo social en la memoria parece que tiene que ver con el nivel de actividad en la corteza prefrontal dorsomedial, un componente importante de la ya mencionada red por defecto, incluso el de cuando ésta está en reposo.

La importancia de conocer y entender cómo es el desarrollo del cerebro humano

Sin duda, una de las contribuciones más importantes de la neurociencia al mundo de la educación se deriva, y aún se derivará (pues hay muchas -muchísimas- consecuencias que están por analizar) de nuestro conocimiento acerca de cómo es el proceso de desarrollo del sistema nervioso, y del cerebro en particular. Qué duda cabe. Cada vez se van conociendo más y mejor cómo son estos procesos de desarrollo, de maduración del sistema nervioso, y sus consecuencias y ventajas para mejorar el proceso educativo son obvias. Hay que decir, no obstante, que muchos de estos conocimientos no son necesariamente fruto de la aplicación de las modernas técnicas de neuroimagen que surgieron con la década del cerebro. Bastantes de esos datos sí lo son, y se van acumulando. Pero en este caso, y al tratarse en gran parte del estudio en edades muy tempranas, el uso de tecnologías de neuroimagen, dada su incomodidad (que no invasividad) y ciertas dificultades inherentes (por ejemplo, intentar conseguir que un niño pequeño esté inmóvil en un tubo de resonancia magnética, o que no se quite un gorro lleno de electrodos) hacen la disponibilidad de datos sobre estas edades con estas técnicas francamente muy limitados. Muchos de estos datos, por tanto, son fruto del estudio del cerebro de animales, mamíferos como las ratas o los ratones, y también algunos primates como los macacos. Los estudios con humanos de corta edad existen, se van acumulando, pero mucho más lentamente que los realizados con adultos. En cualquier caso, se van sucediendo y dando lugar a un horizonte cada vez más cercano a la realidad, aunque aún quede mucho por investigar.

Desde hace décadas, sabemos cómo el cerebro se va formando dentro del útero materno. Como en todos los mamíferos y en gran parte de los vertebrados, nuestro sistema nervioso comienza siendo simplemente un tubo, el llamado *tubo neural*. A partir de ahí, y al cabo de unas semanas, en uno de los extremos de ese tubo se van formando unas 'vesículas', unos abombamientos, tres en total, que van a ser lo que en un futuro se convierta en el cerebro. El resto del tubo seguirá siendo un tubo toda su vida, y es principalmente lo que en un sistema nervioso ya formado conoceremos como médula espinal. Esos tres abultamientos o vesículas constituirán, el primero, lo que conocemos como los hemisferios cerebrales, con su corteza cerebral, sus ganglios basales, su tálamo, su sistema límbico, y una serie de estructuras que, en definitiva, son de las más cruciales -si no las más cruciales- para el sistema educativo. No es que lo que vaya a salir de las otras dos vesículas (el tronco del encéfalo y el cerebelo, básicamente) no sea importante; el sistema nervioso es eso, un sistema: todas sus partes se relacionan entre sí y entre todas contribuyen a un resultado que no sería el mismo si faltan piezas. Pero sin duda lo más relevante en el sistema educativo humano, al menos en el sistema reglado e instituido que conocemos en el mundo occidental, necesita prioritariamente de los hemisferios cerebrales, y de una manera muy especial de la corteza cerebral, esa capa de unos 3 milímetros de espesor que recubre el cerebro y que tiene ese aspecto arrugado que caracteriza la imagen de nuestro cerebro.

Esta es una imagen "macroscópica" del desarrollo del cerebro, es una descripción quizá un tanto grosera de lo que ocurre durante el desarrollo del sistema nervioso. Al final, bastante antes del nacimiento, tendremos ya un cerebro constituido, con sus hemisferios y su tronco cerebral ya formados y conectados de una manera básica, en gran parte determinada filogenéticamente (las memorias filéticas que mencionaba Fuster). Pero lo que va a ser verdaderamente importante respecto al desarrollo del cerebro y que tiene aplicación práctica (y muy útil) para el proceso educativo es lo que va a ocurrir a un nivel microscópico, dentro de las paredes de ese tubo neural, parte del cual va a dar lugar al cerebro.

El proceso microscópico de desarrollo cerebral va a consistir en varios hitos que se encadenan continuamente, si bien dependiendo de la etapa madurativa va a haber diferencias, especialmente cuantitativas, respecto al grado de protagonismo de cada uno de esos hitos. En un principio, en las paredes del interior del tubo neural, y que posteriormente serán las paredes de los ventrículos cerebrales, se ubican una serie de células no diferenciadas, inmaduras, muchas de las cuales viajarán hacia el extremo radial o superficial del tubo, hacia la superficie cere-

bral, para ahí constituirse en neuronas, de determinado tipo, o bien en células de apoyo y soporte de las neuronas, las células gliales. Esto ocurre continuamente durante el desarrollo embrionario, pero cesa antes del nacimiento, si bien aún quedan reminiscencias de este proceso incluso en la edad adulta. La cuestión es que ya al nacimiento venimos con prácticamente todas las neuronas que tendremos el resto de nuestras vidas, incluso con bastantes más, pues en el desarrollo del cerebro un acontecimiento importante -e incluso necesario- es la *apoptosis* neuronal, es decir, la muerte de neuronas, por miles, cada día. Esto es algo que comienza incluso antes del nacimiento y perdurará toda nuestra vida. Parece un proceso necesario: se quedarán muchas de las neuronas que se utilicen, que sean de utilidad; el resto (y muchas más) se van perdiendo, en un ajuste funcional que ocurre continuamente. Tenemos muchas neuronas, según las últimas estimaciones unos 86 mil millones de ellas, de las que 16 mil millones se encuentran en la corteza cerebral. Por tanto, la pérdida no parece tener unas consecuencias dramáticas, antes al contrario.

En realidad, lo más importante van a ser las conexiones. Se estima que cada una de esos 86 mil millones de neuronas tiene o puede tener unas 10 mil conexiones de entrada y otras tantas de salida. Esto dependerá, lógicamente, de diversos factores, entre otros del lugar donde esté y del tipo de neurona de la que hablemos. Pero en cualquier caso lo importante son las conexiones. Ya lo dijimos: la memoria está en las conexiones. Y si en un principio, dentro del útero materno, nuestras neuronas empiezan sin conexiones y se van formando y conectando ya desde esa etapa del desarrollo, es a partir de ahí que vamos formando nuestra memoria (filética y ontogénica). En el cerebro, y a lo largo de nuestra vida, la misión principal será conectar neuronas, lo que llaman *sinaptogénesis*. Conectar y ajustar dichas conexiones, pues no todas se utilizarán, no todas serán convenientes, y muchas de ellas serán eliminadas, como las neuronas, especialmente si no se usan. En el cerebro, lo que no se usa se tira. De hecho, respecto a las conexiones, habrá un proceso que llaman de *poda sináptica*. Que el cerebro genere muchas más neuronas de las necesarias, y, entre estas, muchas más conexiones de las necesarias, no es sino un mecanismo que encontró la naturaleza para construir cerebros complejos con un diseño genético simple. Unos pocos genes determinan cómo son las neuronas, y poniendo en marcha estos un buen número de veces tenemos un buen número de neuronas. En este aspecto radica una de las principales diferencias entre el cerebro humano y el de un chimpancé, por ejemplo: el número de veces que se han puesto en marcha esos genes que permiten formar neuronas. Además, algunos genes determinan que una vez formadas las células nerviosas estas se conecten con todo lo que puedan (dicho de una forma

un tanto coloquial), se ramifiquen sus axones y dendritas. Si luego muchas de estas neuronas y conexiones no sirven, se retiran. Este mecanismo tan aparentemente simple permite tener miles de millones de neuronas y sus conexiones partiendo de los apenas 20 mil genes de nuestro genoma.

Pero ni la apoptosis ni la poda sináptica serán uniformes a lo largo de toda la vida, ni igual entre las distintas zonas de la corteza cerebral. Esto es muy relevante para el proceso educativo, y conocer sus consecuencias, también. Digamos que la maduración de una zona de la corteza consiste básicamente en la generación de nuevas sinapsis (sinaptogénesis), la muerte de neuronas (apoptosis), la reorganización sináptica con poda sináptica incluida y la mielinización (recubrimiento de los axones). En la medida en que estos fenómenos van surgiendo vamos teniendo un mayor grado de maduración. Pues bien, la maduración cortical no es igual en todo momento, no es igual a lo largo de la vida, depende de qué zonas del cerebro estemos considerando. Así, las primeras en madurar serán las áreas primarias, aquellas que ponen a la corteza en contacto directo con el mundo exterior, tanto para el percibir como para el actuar. Estas tardarán algunos años en experimentar sus principales procesos de maduración, y de hecho se estima que serán necesarios al menos 3 o 4 años para que estas áreas, en principio tan básicas, pero tan fundamentales, hayan realizado sus conexiones más importantes, hayan eliminado las superfluas, y hayan mielinizado fuertemente sus conexiones, tanto las interiores como aquellas que les llegan y que envían. De hecho, la sinaptogénesis en estas zonas, aunque se producirá en mayor o menor grado durante toda la vida del individuo, tendrá su mayor expresión durante esos 3 primeros años de vida y, muy especialmente, durante el primer año, en una proporción extraordinaria.

Durante esos primeros años, los llamados *factores extrínsecos* del desarrollo tendrán una importancia crucial. Precisamente, ya hablamos más arriba de los períodos críticos. El período crítico de las áreas primarias del ser humano serán precisamente estos 3 o 4 primeros años. A la sinaptogénesis, la apoptosis, la reorganización sináptica, la poda sináptica y la mielinización de estas zonas subyacen procesos de ajuste muy fino, muy laboriosos y graduales que serán determinantes para el resto de la vida de un individuo. Por eso hay que hacerlos bien. Porque si no, habremos perdido una ventana de oportunidad única, con efectos irreversibles. Y para hacerlos bien necesitamos algunas cosas. Una de ellas es que el niño debe recibir la estimulación sensorial y motora conveniente a las áreas primarias de su cerebro. Dicho de otra manera, durante esos primeros años el niño debe ver todo tipo de estímulos, en movimiento, de colores,

grandes, pequeños, variados, lejanos, cercanos. El niño se debe mover, y agarrar, lanzar objetos, levantarlos, tocarlos, experimentar multitud de texturas, pesos, temperaturas. También debe escuchar todo tipo de sonidos, variados, ricos en melodía y entonación, sonidos lingüísticos, musicales, emocionales, sociales. Debe experimentar una buena cantidad de sabores, debe ejercitar el olfato y el gusto. Y además debe hacerlo de manera integral, interactuando entre las distintas modalidades. Por ejemplo, el sistema visual necesitará del motor y táctil, pues un mismo objeto, cuando es lanzado, cambia aparentemente de tamaño, parece más pequeño, mientras que cuando es recibido se agranda: el sistema visual aprende que con las distancias los objetos se ven de otra manera, aunque sean los mismos y en realidad no cambien. Manipular los objetos con las manos ayuda a que el sistema visual aprenda y reconozca las tres dimensiones, y que un mismo objeto puede presentarnos una imagen distinta dependiendo del ángulo desde donde lo miremos.

La maduración de esas áreas primarias, por tanto, puede ser mejor o peor, de mejor o peor calidad, dependiendo de las experiencias que haya tenido el niño durante esta etapa de su desarrollo. Es importante esto, pues puede determinar diferencias incluso de cociente intelectual, para toda la vida e irreversibles: que las conexiones de las áreas primarias -de todas- no se hayan producido adecuadamente en calidad y cantidad. Por eso, la cantidad y la calidad de oportunidades de estimulación en este período es fundamental. Y aquí, desgraciadamente, nos vamos a encontrar con notables diferencias individuales en función de factores socioeconómicos que deberíamos tener en cuenta, entre otras cosas porque son evitables, son previsibles, podemos intervenir sobre ellos. En este sentido, hay niños cuyos progenitores pueden no ofrecerles las oportunidades de estímulos necesarios. La conversación, la atención, los estímulos visuales, táctiles o auditivos diversos y variados que se necesitan. Pueden no atenderlos mínimamente, ubicarlos delante de un televisor y dejar que su desarrollo más primario consista en estímulos parciales y sesgados. Por eso es tan importante la educación reglada e instituida, planificada adecuadamente, en los primeros años de vida. Porque no todos los niños, incluso de una misma sociedad, de un mismo lugar geográfico, tienen o van a tener las mismas oportunidades de estimulación. Y esto va a ser muy importante para sus vidas.

Además de los estímulos necesarios, durante esos primeros años de vida en que maduran las áreas primarias también serán necesarias, fundamentales, otras cosas. Casi tanto como la estimulación adecuada. Hablamos de la alimentación, por ejemplo. En un cerebro en desarrollo se requieren los nutrientes y elemen-

tos metabólicos necesarios para la construcción de un cerebro. Para elaborar sus conexiones, realizadas a base de ramificar axones y de producir y ramificar dendritas, el cerebro necesita proteínas, lípidos, glucosa, vitaminas, iones y otros tantos elementos y compuestos químicos cruciales para construir un cerebro. Sin ladrillos y argamasa no se construye una casa. Los estímulos por sí solos no son suficientes, el cerebro debe construirse físicamente también. Y aquí de nuevo no todos los niños van a tener las mismas oportunidades, la misma disponibilidad. Y no es sólo una cuestión de cantidad, sino de calidad también. No se trata de que los niños no tengan hambre, estén saciados físicamente. Se trata de que tengan una alimentación completa, adecuada, equilibrada, que incluya absolutamente todo lo necesario. Una mala alimentación puede venir tanto por defecto en su cantidad como por ser inadecuada, incompleta. Tenemos que estar muy atentos a esto pues, de nuevo, puede conllevar diferencias en el cociente intelectual que sean permanentes, para toda la vida, e irreversibles.

Las consecuencias que sobre la inteligencia de un ser humano va a tener el desarrollo de sus áreas corticales primarias durante sus primeros años de vida van más allá de los efectos en esas mismas áreas primarias. Efectivamente, si estas áreas primarias no han madurado en todo su potencial, en toda su calidad y cantidad, hasta sus últimas consecuencias, la información que estas van a enviar a las áreas de asociación unimodal va a ser deficiente, inadecuada, incompleta, en el peor de los casos pobre o muy pobre. Y es que estas áreas de asociación unimodal empiezan a madurar después de las primarias; un tiempo después de haber comenzado estas últimas, cerrando aproximadamente su mayor desarrollo en torno a los 8 años de edad, aunque aquí puede haber ya diferencias más marcadas, mayor variabilidad, entre las distintas áreas de asociación unimodal, e incluso dentro de cada una de ellas. En cualquier caso, su mayor sinaptogénesis no ocurre sino a partir del primer año. Recordemos que las áreas de asociación unimodal no reciben estímulos del exterior, al menos principalmente, sino de las áreas primarias. Por eso, la maduración de las áreas de asociación unimodal es totalmente dependiente de la maduración de las primarias. Las áreas de asociación unimodal madurarán adecuadamente y en todo su potencial si –y sólo si– las precedentes han madurado adecuadamente y en todo su potencial. Así se desarrolla el cerebro.

Y, efectivamente, siguiendo este mismo esquema, las regiones o áreas de asociación heteromodal van a seguir la misma dinámica: su maduración (sinaptogénesis, apoptosis, reorganización sináptica, poda sináptica y mielinización) va a seguir a la de las áreas unimodales, y va a depender prácticamente por entero de

estas. De nuevo, las áreas de asociación heteromodal madurarán adecuadamente y en todo su potencial si –y sólo si- las de asociación unimodal han madurado adecuadamente y en todo su potencial. En este caso, habrá mucha mayor variabilidad, no obstante, y aunque pueden empezar su mayor período de sinaptogénesis en torno a los 4 o más años, muchas partes pueden no terminar sino a los 20-25 años de edad. Verdaderamente, el cerebro humano es de desarrollo muy lento, y esto, al parecer, le da cierta ventaja frente a otros cerebros más rápidos en su desarrollo. Tenemos más tiempo para aprender, asimilar y consolidar más conocimientos. Las dificultades de la vida social humana parecen tener parte de culpa en esto. De hecho, parece que entre las últimas áreas cerebrales en madurar se encuentran algunas que tienen que ver con el autoconocimiento respecto a emociones sociales, con la valoración de situaciones sociales emocionales.

En esta mecánica, según la cual las áreas primarias empiezan a madurar antes, seguidas de las de asociación unimodal, que a su vez son seguidas de las de asociación heteromodal, los procesos parecen ir siendo cada vez menos irreversibles, menos dañinos en caso de ausencia de la estimulación adecuada. La cuestión va siendo más de períodos sensibles que de críticos. Pero aun así todo es importante, y más si nos movemos en un mundo tan competitivo como el actual (en realidad, siempre lo ha sido). Puede que tengas una segunda oportunidad para algunas funciones, pero si otros llegaron antes, tendrán una ventaja. En cualquier caso, es un proceso en cadena, y desde los más elementales primeros momentos vemos que todo tiene importancia, una importancia crucial, y que lo que ocurra en esos momentos podrá tener consecuencias para el resto de la vida de un individuo. La ausencia de recursos, de oportunidades, de experiencias, las desigualdades sociales o socioeconómicas, pueden ser determinantes en la construcción integral de una persona, y de sus diferencias se podrán derivar desequilibrios muy importantes que afecten a todo el abanico de competencias cognitivas.

Curiosamente, entre las últimas áreas en madurar, entre las más heteromodales y abstractivas de las áreas de la corteza cerebral encontramos a nuestra conocida red del modo por defecto, de la que hemos hablado largo y tendido ya. Recordemos que es la red que está en lo más alto de la jerarquía conceptual, que es la que da sentido a todo, la que da sustento a lo más abstracto y profundo de nuestros conceptos, incluidas las emociones -y especialmente las emociones sociales como el orgullo, la culpa o la vergüenza-. Es quizá la porción más social de nuestro cerebro, pues se sincroniza entre personas que están trabajando o atendiendo conjuntamente algo que tenga coherencia global. Además, se

utiliza para recrear situaciones sociales, para interpretarlas o reinterpretarlas, y para visualizar posibles soluciones a los conflictos sociales, para visualizar situaciones futuras, especialmente del ámbito social. Es, además, el conjunto de estructuras gracias al cual tenemos el concepto del “yo”, tan importante para nosotros mismos, tan importante para evaluar mi posición dentro del grupo y las acciones de los demás respecto a las mías propias. De hecho, este tipo de computaciones se realizan en esta red del modo por defecto (Sánchez-García et al., 2021). Aún tenemos mucho que aprender sobre esta red del modo por defecto, aún hay muchos enigmas. Pero lo que vamos sabiendo ya nos indica que tiene que ver con lo que nos hace más humanos, con nuestra identidad, con nuestra concepción del mundo, de nosotros mismos y de los demás, con nuestra esencia como personas. No en vano, aunque la del chimpancé tiene bastantes similitudes, nuestra red por defecto presenta rasgos únicos dentro del orden de los primates. Lo interesante aquí es resaltar cómo su maduración, su conformación, la calidad de sus conexiones y de sus operaciones, se va a ver afectada por la maduración de las áreas que han terminado su proceso madurativo antes. Es más, recordemos, la red por defecto es la más alejada del mundo exterior de toda la corteza. Por eso depende enteramente del trabajo de todas las demás. Y este, a su vez, va a depender de cómo ha sido su maduración, su desarrollo. Y en esto tiene mucho, muchísimo que decir, la educación.

A modo de conclusión. Mente, cerebro, cuerpo, mundo...

Sí, efectivamente: así es como se desarrolla un cerebro que está inserto en un cuerpo al que tiene que dirigir, controlar, vigilar, regular; pero también cuidar, proteger, defender, ayudar, mover. Entre otras mil funciones. El cerebro es un órgano del cuerpo, forma parte de este, y en su conjunto, cerebro y cuerpo (o mente, cerebro y cuerpo) forman un sistema en comunicación y en comunión con el mundo. Efectivamente, el cerebro es parte del mundo y está preparado para entender parte de este, y lo hace a través del cuerpo del que forma parte.

Lo interesante del cerebro humano es que este posee unas áreas de asociación, unimodal y, especialmente, heteromodal, más extensas que en el resto de los animales, y estas culminan en la curiosísima e interesante red del modo por defecto. Llegar a desarrollar esta es desarrollar un yo, un yo que siente y comparte sus vivencias con las redes por defecto de otros seres humanos. Y el desarrollo de esta red por defecto depende del desarrollo, progresivo, lento y paulatino, pero

firme, de otras redes y estructuras cerebrales y corticales que están sintonizadas más estrechamente con el mundo, con la realidad exterior, con lo que nos rodea desde antes del nacimiento y nos acompaña hasta nuestros últimos días.

Por eso, para conocer la realidad, incluso la más abstracta y enrevesada, el cerebro necesita interactuar, con todos sus sentidos y músculos, con el mundo exterior. Cuanto más se involucren todos nuestros sentidos y órganos motores, más integral será nuestro conocimiento, y más posibilidades tendremos de alcanzar, a partir de ahí, conocimientos aún más complejos y abstractos. Un ejemplo lo tenemos en el uso de metáforas sobre la realidad más inmediata y perceptible (que no necesariamente simple, sino a veces todo lo contrario) para entender realidades más complejas y abstractas, como destaca el lingüista cognitivo George Lakoff. (Véase, por ej., Lakoff, 1987). Así, a lo largo de nuestra vida, de niños, comenzamos conceptualizando el mundo en base a unos esquemas cognitivos "primitivos" relacionados con nuestro cuerpo (llamados esquemas *imagen-kinestésicos*; es decir, senso-motores). Así, por ejemplo, podemos entender que nuestro propio cuerpo es un contenedor, pues tiene interior, exterior, hay cosas dentro de él, fuera de él. También entendemos que el cuerpo tiene partes, y que también constituye una totalidad. También nuestro cuerpo puede ir hacia adelante o hacia atrás, y realizar sus movimientos siguiendo un orden. Pues, bien, es gracias a este conocimiento del cuerpo más directamente basado en nuestra interacción con el mundo que nuestro cerebro entiende otros conceptos más complejos, como el tiempo. Estos podríamos entenderlos como metáforas de esas realidades más tangibles, como el cuerpo. Así, el tiempo se puede entender comprendiendo el concepto de contenedor, y podemos "sacar" o "tener" tiempo. O como algo divisible según los conceptos de todo-parte: el tiempo se puede dividir, en años, meses, días, etc. El tiempo también puede empezar o terminar, ir hacia adelante o remontarnos hacia atrás, puede ir más deprisa o más despacio, encontrarnos "en" un momento (ej., en abril), al igual que nuestro cuerpo puede encontrarse en un espacio. También podemos tener tiempo por delante y en cualquier caso este seguirá normalmente un orden, como los movimientos del cuerpo. El tiempo es así una metáfora del espacio que conocemos a través del cuerpo. Otro ejemplo interesante de cómo conocemos la realidad necesariamente a través del cuerpo, y cómo este a veces impone unas condiciones, unos sesgos podríamos decir, lo tenemos en nuestra concepción de la temperatura. Mientras que esta, para la física, es una dimensión única (el frío es la ausencia de calor) no obstante la percibimos como dos realidades distintas: el frío es una cosa y el calor otra. Si nos acercamos a ver cómo el cerebro procesa ambos fenómenos, descubrimos que, aunque sus vías se solapan y son comunes en gran parte, habrá lugares del cerebro separados para

procesar las bajas temperaturas y otros para temperaturas altas, de manera que así se entiende que la realidad para el cerebro sea que frío y calor son dos cosas cualitativamente distintas (Ezquerro-Romano y Ezquerro, 2017). Sin duda, necesitamos de estos y otros muchos conocimientos, que vienen de la neurociencia, para mejorar la labor de la educación.

Después de toda esta lección, en la que he repasado cómo la neurociencia puede y debe contribuir a la mejora del proceso educativo, y donde sólo hemos tocado –creo yo- la punta del iceberg, me gustaría, para concluir, destacar algunas ideas que creo están fuertemente asentadas desde la neurociencia y deberíamos tener presentes en todo acto educativo:

1. El conocimiento (todo él) es dependiente de lo SENSORIAL y de lo MOTOR, es decir, de las interacciones del cuerpo con el mundo, en diferentes y progresivos grados de ABSTRACCIÓN.
2. Lo sensorial y lo motor trabajan al UNÍSONO. No podemos trabajar sólo uno de estos dos polos. Ambos están, además, tremendamente conectados con lo EMOCIONAL.
3. El cerebro humano es HIPERSOCIAL. La compañía de otras personas es muy importante en el proceso educativo, cambia el modo de funcionar el cerebro. Lo SOCIAL y lo EMOCIONAL, además, se solapan enormemente en el cerebro humano.
4. La maduración de la corteza es PROGRESIVA: va de lo más primario a lo más abstracto/complejo. Además –y esto es muy importante- la maduración de cada etapa depende del éxito (de la calidad) en la MADURACIÓN DE LA PRECEDENTE.

Como ven, no son pocas ni irrelevantes las aportaciones que la neurociencia está haciendo ya a la educación. Me permito augurar, además, que serán muchas más. Y que, efectivamente, la neuroeducación permitirá mejorarnos a nosotros mismos como especie, especialmente si facilitamos que sus logros sean accesibles para toda la humanidad.

Referencias

- Ansari, D.; Coch, D. & De Smedt, B. (2011). Connecting education and cognitive neuroscience: Where will the journey take us? *Educational Philosophy and Theory*, 43, 37-42.
- Blackmore, C. (2000). Achievements and challenges of the Decade of the Brain. *Eurobrain*, 2, 1-4.
- Demolliens, M.; Isbaine, F.; Takerkart, S.; Huguet, P.; Boussaoud, D. (2017). Social and asocial prefrontal cortex neurons: a new look at social facilitation and the social brain. *Social, Cognitive and Affective Neuroscience*, 12, 1241-1248.
- Dunbar, R. (1996). *Grooming, gossip and the evolution of language*. London: Faber and Faber.
- Dunbar, R. (2020). *Evolution: What everyone needs to know*. New York: Oxford University Press.
- Ezquerro-Romano, I., & Ezquerro, A. (2017). Highway to therosensation: a traced review, from the proteins to the brain. *Reviews in the Neurosciences*, 28, 45–57.
- Fracchia, C. S.; Segretin, M. S.; Hermida, M. J.; Prats, L., & Lipina, S. J. (2020). Mediating role of poverty in the association between environmental factors and cognitive performance in preschoolers". *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 12, 24-38.
- Fuster, J. M. (2009). Cortex and memory: emergence of a new paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 2047-2072.
- Fuster, J. M. (2003). *Cortex and mind: Unifying cognition*. New York: Oxford University Press.
- Fuster, J. M. (2013). *The neuroscience of freedom and creativity*. New York: Cambridge University Press.
- Gamble, C.; Gowlett, J.; Dunbar, R. (2018). *Thinking big: How the evolution of social life shaped the human mind*. London: Thames and Hudson
- Goswami, U. (2015). Neurociencia y Educación: ¿Podemos ir de la investigación básica a su aplicación? Un posible marco de referencia desde la investigación en dislexia. *Psicología Educativa*, 21, 97-105.
- Goswami, U. (2022). Language acquisition and speech rhythm patterns: an auditory neuroscience perspective. *The Royal Society Open Science*, 9211855.
- Gu, C.; Peng, Y.; Nastase, S. A.; Mayer, R. E.; Li, P. (2024). Onscreen presence of instructors in video lectures affects learners' neural synchrony and visual attention during multimedia learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121, e2309054121.
- Hart, L. A. (1983). *Human brain and human learning*. Michigan: Longman.
- Hinchcliffe, C.; Jiménez-Ortega, L.; Muñoz, F.; Hernández-Gutiérrez, D.; Casado, P.; Sánchez-García, J.; Martín-Loeches, M. (2020). Language comprehension in the social brain: Electrophysiological brain signals of social presence effects during syntactic and semantic sentence processing. *Cortex*, 130, 413-425.

- Jimenez, C. A.; Meyer, M. L. (2024). The dorsomedial prefrontal cortex prioritizes social learning during rest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121, e2309232121.
- Lakoff, G. (1987). *Women, fire, and dangerous things*. London: University of Chicago Press.
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102, 299–314.
- Luria, A. R. (2019). *Las funciones corticales superiores del hombre*, 3ª Ed. del original de 1962. Ciudad de México, Fontanara
- Martín-Loeches, M. (2015). Neuroscience and education: We already reached the tipping point. *Psicología Educativa*, 21, 67-70.
- Mora, F. (2013). *Neuroeducación: Solo se puede aprender aquello que se ama*. Madrid: Alianza Editorial.
- Mora, F. (2024). *Un paseo didáctico por la neuroeducación*. Madrid: Alianza Editorial.
- Peña, M.; Maki, A.; Kovacic, D.; Dehaene-Lambertz, G.; Koizumi, H.; Bouquet, F., et al. (2003). Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 11702–11705.
- Pulvermüller, F. (2013). How neurons make meaning: brain mechanisms for embodied and abstract-symbolic semantics. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 458-477.
- Rogers, T. B.; Kuiper, N. A.; Kirker, W. S. (1977). "Self-Reference and the Encoding of Personal Information", *Journal of Personality and Social Psychology*, 35, 677–678.
- Sánchez-García, J.; Rodríguez, G. E.; Hernández-Gutiérrez, D.; Casado, P.; Fondevila, S.; Jiménez-Ortega, L.; Muñoz, F.; Rubianes, M.; Martín-Loeches, M. (2021). Neural dynamics of pride and shame in social context: An approach with Event-Related brain electrical Potentials. *Brain Structure & Function*, 226, 1855-1869.
- Ullman, M. T. (2016). The declarative/procedural model: A neurobiological model of language learning, knowledge, and use. In *Neurobiology of language* (pp. 953-968). Academic Press.
- Willingham, D. T. (2009). Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, 4, 544–545.
- Zadina, J. (2015). The emerging role of educational neuroscience in education reform. *Psicología Educativa*, 21, 71-77.

