

# El impacto de la investigación científica en la sociedad de hoy. El ejemplo de las neurociencias

*Carlos Belmonte Martínez\**

Académico de Honor de la R. Acad. Med. Comunitat Valenciana

EXCELENTÍSIMOS E ILUSTRÍSIMOS SRES;  
QUERIDOS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Los honores siempre tienen un punto de injusticia, ya que muchas otras personas los merecen tanto o más que el afortunado; pero reflejan también el aprecio hacia éste de quienes lo promovieron y el de los amigos que acuden a celebrar con él tan grata ocasión. Por eso quiero comenzar dando las gracias a mis colegas de la Real Academia de Medicina de la Comunidad Valenciana, a cuya corporación pertenezco desde hace más de dos décadas, por distinguirme hoy con el nombramiento de Académico de Honor. También les pido públicamente perdón por no haber dedicado a la Academia en esos años todo el tiempo que ésta merecía. No quiero dejar pasar tampoco la oportunidad de resaltar y agradecer, creo que en nombre de todos los Académicos, el papel fundamental jugado en estos años por su actual Presidente, Profesor Antón Llombart, quien con su visión, entusiasmo y trabajo constante ha logrado hacer de la Real Academia una institución abierta a todos los ámbitos de la Comunidad Valenciana, incorporándola a la cambiante y dinámica realidad de la biomedicina de hoy, sin por ello renunciar a sus valores tradicionales. Finalmente, deseo expresar una especial gratitud a todos los colegas y amigos que han querido sumarse a este acto. Su compañía resulta particularmente valiosa, pues con el transcurso de los años voy apreciando más y más que son los afectos antes que los éxitos, los que acompañan y llenan las últimas etapas de la vida. Gracias a todos.

El título de este discurso es: “El impacto de la investigación científica en la sociedad de hoy: el ejemplo de las Neurociencias”. No pretendo, ni mucho menos, hacer aquí una discusión pormenorizada y erudita de cómo ha evolucionado la práctica y el enfoque de la investigación científica en las últimas décadas, ni tampoco analizar con rigor académico su influencia sobre la evolución de los valores de la sociedad de nuestros días. Tan solo me atreveré a pergeñar algunas reflexiones sobre estos temas, derivadas principalmente de las vivencias personales proporcionadas por mi trabajo como investigador, que me ha dado la oportunidad de hacer experimentación científica y de seguir, como testigo cercano, los abrumadores progresos alcanzados en el estudio del cerebro en las últimas décadas.

Creo que todos estaremos de acuerdo en que la investigación científica recibe en las sociedades industrializadas, cada vez mayor atención mediática. Los periódicos y televisiones recogen, cada día, noticias de nuevos descubrimientos científicos y tecnológicos. Tales informaciones aunque se adornan a veces con injustificada espectacularidad, contribuyen a generar en el gran público una mayor conciencia de que el bienestar futuro dependerá en gran medida, de los avances aportados por los descubrimientos científicos.

Entre los efectos positivos de esa mayor atención y sensibilidad social hacia la ciencia, cabe reseñar el mayor reconocimiento público que reciben los científicos frente a la indiferencia del pasado. Algo hemos mejorado, pues en el aprecio social por la Ciencia, los científicos y los logros tecnológicos derivados de su actividad.

La Ciencia ha perseguido siempre un mejor conocimiento del mundo que nos rodea y de nosotros mismos, sin pretender obtener, en principio, beneficios adicionales expresos. Sin embargo, medida que sus descubrimientos se han ido traduciendo en mejoras tangibles de la salud, la calidad de vida o el disfrute de nuevas tecnologías se ha hecho evidente que la transformación de los descubrimientos científicos en productos comerciales de alto valor resulta cada vez más rentable para gobiernos e individuos. Así, aprovechar la ciencia para mejorar la calidad de vida no solo es una exigencia político-social creciente en el ámbito público, sino también un negocio muy lucrativo. Nada hay que objetar, sino al contrario, al beneficio económico y social derivado de los logros científicos, pero conviene tener en cuenta que un enfoque excesivamente utilitarista de la investigación, puede tener repercusiones indeseadas sobre el modo de hacer ciencia y a la larga también, sobre los hábitos de vida y los patrones de conducta de los ciudadanos del futuro.

El modo de hacer investigación en un escenario como el actual, empuja hacia una de investigación científica que responda a criterios de utilidad y eficiencia en costos y tiempos, y requiere equipos humanos amplios y multidisciplinarios, medios materiales sofisticados y caros e inversiones financieras importantes. El aspecto negativo de esta aproximación, es que tiende a favorecer la competencia descarnada y el secretismo entre grupos científicos, las instituciones y los países que los mantienen, a fin de proteger económicamente sus hallazgos y un control mucho más restrictivo de los objetivos y el trabajo del investigador, cuya productividad se mide con criterios empresariales y no tanto por la originalidad o excelencia intelectual de su labor. Esto se traduce en un creciente dirigismo científico por los promotores. Desde los poderes públicos, se diseñan planes temáticos, consorcios, redes etc. que dirigen 'top-down' la inversión y favorecen el apoyo a los temas que los políticos consideran socialmente relevantes, lo que conlleva el riesgo de aproximaciones cortoplacistas, imposición soterrada de intereses ideológicos o, en el peor de los casos, apoyo con dinero público de beneficios privados. En el caso del mundo empresarial, donde el beneficio económico

es la meta principal, la investigación aplicada corre el peligro de sacrificar una valoración equilibrada de los resultados a la necesidad de venderlos, limitar la libre difusión de aquellos entre la comunidad científica o decidir el abandono de ocasionales hallazgos de valor científico general, si éstos no ofrecen posibilidades cercanas de ganancias económicas.

La presencia, en ascenso, de la ciencia en los medios de comunicación ha modificado igualmente algunas de las actitudes, prioridades y valores éticos de los científicos. Las técnicas desarrolladas por los 'medios de masas' para facilitar el acceso del gran público a la información, han 'contaminado' las tradicionalmente sosegadas maneras, empleadas por los investigadores para comunicar sus hallazgos. La inmediatez, brevedad, obligada superficialidad y sometimiento de la exactitud rigurosa del mensaje a la claridad de las noticias periodísticas se emplean cada vez más en los artículos de las revistas científicas más punteras y prestigiosas, un proceso inevitable, pero que requiere control y una cuidadosa evaluación crítica, a fin de evitar sus repercusiones dañinas en la investigación, donde los detalles experimentales y la precisión de los datos resultan esenciales a la hora de garantizar la importancia real y la significación de los nuevos descubrimientos.

Por último, la mayor cercanía de la Ciencia a los poderes económicos, políticos y mediáticos ha modificado también el perfil tradicional del científico, que hoy día puede hacerse rico, famoso y poderoso con su trabajo, algo legítimo siempre que no instrumente la Ciencia como palanca de poder, o sacrifique para alcanzar esas metas el rigor y la honestidad consustanciales al trabajo investigador. El investigador se ve en estos tiempos tentado por la posibilidad de una notoriedad pública que puede alcanzar legítimamente por la calidad de su trabajo, tal y como la reconocen sus pares, pero desgraciadamente también por la habilidad para presentar sus hallazgos o proyectos como la solución a problemas que en realidad está muy lejos de poder resolver. Esto es malo para la credibilidad y el prestigio de la ciencia y de los científicos en general y lo es aún más si, por añadidura, el reparto político de fondos públicos para la investigación se basa en el número de veces que un científico aparece en la prensa diaria, más que en el contenido de los artículos que publica en revistas científicas de prestigio.

Pese a las cautelas que he querido recoger aquí en relación con la actividad científica en el mundo actual, conviene no olvidar que estos problemas son solo potenciales consecuencias indeseadas de un hecho incontestable y gozoso: El veloz e imparable avance del conocimiento científico que se está produciendo en todos los campos. Y si los cambios sociales influyen, no siempre de modo constructivo, sobre el modo y las modas de la actividad investigadora, mucho más profundo es el impacto que ésta tiene, con sus luces y sus sombras, en la vida de todos y cada uno de los seres

humanos. Pocos ejemplos pueden ilustrar mejor esta ambivalencia que el progreso en la comprensión científica del cerebro humano.

La mente humana ha sido, desde muy temprano, un tema central para la especulación filosófica. Desde los griegos hasta hoy, las reflexiones sobre la naturaleza de la mente han llenado algunas de las más brillantes páginas del pensamiento filosófico occidental. Aun así, la aproximación experimental al estudio científico de la mente, entendida como el producto de la operación del cerebro humano, ha tropezado históricamente con reticencias, basadas en la creencia de que no es posible tener acceso objetivo al correlato físico de procesos considerados de otra esfera, como el pensamiento abstracto o la conciencia del yo, por citar dos ejemplos. El dualismo entre materia y espíritu, como principio explicativo de la realidad, ha gravitado durante siglos sobre pensadores y científicos. De entre éstos, son pocos ya los que mantienen una cerrada posición dualista. Los filósofos y pensadores modernos empiezan a aceptar que el imparable avance del saber científico fuerza a incluir éste en los análisis filosóficos de la realidad.

Son múltiples los datos experimentales en favor de que la aparente excepcionalidad de la mente humana es sólo el fruto de modificaciones progresivas de algunas características comunes al sistema nervioso de todos los seres vivos. Estas han conducido finalmente al surgimiento de propiedades emergentes en el cerebro de las especies más evolucionadas, generando su creciente complejidad. También parece confirmado que han sido primordialmente los factores ambientales externos (temperatura, humedad, radiación, cataclismos o predación) los que han determinado las características adquiridas por el cerebro a lo largo de la evolución. De igual modo, la percepción por los humanos de su entorno de una manera coherente y continua se ha conseguido por selección evolutiva de un número reducido de los parámetros físicos del mundo real que se detectan sensorialmente; el cerebro construye con esa información fragmentaria, una imagen esquemática pero unitaria del medio que le rodea, rápidamente accesible y que contiene la información del mismo más relevante para la supervivencia. De igual manera, la capacidad de reflexionar y predecir las consecuencias de una conducta, una cualidad extraordinariamente útil y desarrollada en la especie humana, es el resultado también de presiones evolutivas que han ido moldeando el cerebro durante su ascenso en la escala animal, desde la ascidia hasta el más sublime de los poetas.

La moderna neurobiología ha abordado el cerebro, mayormente desde una perspectiva reduccionista, que intenta comprender el todo mediante su descomposición en partes y también, en menor grado, con planteamientos holistas, que tratan de explicar de manera integrada su funcionamiento. Ambos planteamientos son válidos y complementarios para entender científicamente el cerebro.

Fue precisamente un histólogo español, Santiago Ramón y Cajal quien fundó la moderna Neurociencia, al poner en evidencia por vez primera que, pese a su abrumadora complejidad, el cerebro era científicamente abordable mediante aproximaciones reduccionistas, lo que inició su abordaje sistemático por la investigación científica experimental.

Desde entonces, el explosivo avance de los conocimientos sobre el sistema nervioso ha ocurrido en un sorprendentemente corto lapso de tiempo. A finales del siglo XIX, se veía al cerebro como un intrincado plexo de células y fibras nerviosas unidas entre sí, en el que no se intuía orden alguno. Poco más de cien años después, la palabra «cerebro» genera en Google casi 17 millones de entradas. Hoy, centenares de miles de investigadores escudriñan el sistema nervioso desde las perspectivas más diversas.

¿Cómo ha tenido lugar ese espectacular desarrollo? En todas las ciencias experimentales, incluyendo las Neurociencias, los grandes avances han sido casi siempre fruto del desarrollo y aplicación inteligente de nuevas técnicas, que permiten responder a preguntas hasta entonces inabordables. El éxito de Cajal se apoyó en el uso del método de Golgi para teñir neuronas aisladas. Poco después, el registro eléctrico de la actividad en fibras nerviosas permitió a Adrián probar que las neuronas se comunican entre sí mediante rápidas señales eléctricas, los impulsos nerviosos, cuya descarga repetitiva constituye el lenguaje digital de comunicación entre las neuronas de los circuitos cerebrales. Un lenguaje que hoy puede descifrarse gracias a las nuevas tecnologías de análisis computacional.

En paralelo, potentes técnicas analíticas de la biología y la genética moleculares, de la microscopia, electrónica y de fluorescencia o de la optogenética, han permitido establecer que las neuronas no son solo diversas en su morfología y conexiones sino que poseen una gran especificidad genética, molecular y funcional, lo que confiere características propias a cada subtipo neuronal, incluyendo la síntesis y liberación de neurotransmisores químicos diferentes, que activan o inhiben de manera selectiva a otras neuronas.

El estudio del desarrollo temprano y la maduración del cerebro fue esencial para Cajal para entender, tomando un punto de partida más simple, cómo se organizaban los complejísimos circuitos cerebrales del cerebro adulto. En años recientes, las herramientas de la biología y la genética molecular, han permitido identificar los genes que regulan la expresión de moléculas que determinan el crecimiento de las neuronas y sus prolongaciones, a las que atraen, repelen y dirigen a su destino, genéticamente programado. Una constatación espectacular ha sido que la experiencia sensorial en etapas tempranas de la vida remodela esas redes neurales en formación. Durante los llamados «periodos críticos» u «óptimos» de plasticidad durante el desarrollo postnatal, las conexiones de un circuito sensorial dado pueden ser

modificadas por la información externa. Pasado dicho periodo, el circuito se consolida y se reduce su capacidad de cambio. Por ejemplo, los sonidos propios de la especie son discriminados y consolidados de modo precoz permitiendo su reconocimiento temprano y estable, al igual que algunos aspectos del lenguaje en los humanos como la sintaxis y la fonología, mientras que la formación de circuitos cerebrales para la adquisición de nuevos elementos léxicos permanece más abierta a lo largo de la vida.

La versatilidad de esta maduración cerebral en los primeros años de la vida se explica tras el descubrimiento de que la expresión de los diferentes genes está influenciada por mecanismos epigenéticos que integran las señales ambientales con las genómicas para controlar el desarrollo de un fenotipo particular. No es de extrañar que tan amplia variabilidad de posibilidades genéticas haya conducido, a lo largo del desarrollo filogénico a pronunciadas diferencias intra- e inter-especies entre cerebros, que incluyen las peculiares capacidades del humano. Por ejemplo, la mutación hace dos o tres millones de años en el hombre de dos genes que aparecen solo a partir de los grandes simios, fue posiblemente la responsable de la mayor densidad, tamaño y plasticidad de las espinas sinápticas en las neuronas del cerebro del hombre frente al del mono, un cambio crítico para la aparición de funciones cerebrales más sofisticadas en la especie humana. El viejo debate sobre el papel de la herencia y el ambiente en la configuración final del cerebro (nature versus nurture) se reorienta ahora a la obtención de datos precisos sobre cómo, donde y cuando los cambios ambientales y la información externa modifican por vía genética y/o epigenética la expresión de determinados genes que controlan funciones cerebrales específicas. Por ejemplo, se ha visto en animales que la exposición temprana de las crías recién nacidas a experiencias adversas (separación de la madre, estrés), modifica de manera permanente su expresión génica por mecanismos epigenómicos y como resultado de ello, los patrones de su conducta adulta. Un ejemplo similar pero en seres humanos se vió en niños institucionalizados desde el nacimiento en Rumania bien nutridos pero sin exposición alguna al afecto maternal cuyo “cociente de desarrollo” (equivalente al conocido IQ) fue de 74, frente a 103 en compatriotas de su misma edad criados en familia, un efecto que no pudo revertirse con terapias intensivas durante 8 años. Lo que confirman éste y otros estudios similares, es que existen en los humanos «periodos críticos» para la maduración intelectual y emocional, que son de alrededor de 24 meses para el desarrollo intelectual normal, de solo 20-22 meses para el establecimiento de una relación parental sana y de 16 meses para el aprendizaje normal del lenguaje. La percepción sensorial y emocional temprana es esencial para el desarrollo normal de las conexiones del cerebro durante esos periodos críticos en los dos primeros años de vida.

Estos son solo ejemplos de cómo la Neurociencia reduccionista ha avanzado en dilucidar las características morfológicas, biofísicas y moleculares de los diferentes elementos individuales que configuran el sistema nervioso, su desarrollo y mecanismos de interacción. Tal conocimiento representa un paso necesario, pero no suficiente, para

llegar a entender la generación, por la actuación orquestada de las neuronas, del inacabable programa de conductas que el cerebro ejecuta en los animales superiores.

Entender esos procesos es el objetivo de la llamada neurociencia de sistemas o integrativa que trata de definir morfológica y funcionalmente cómo operan los circuitos neurales que sustentan las funciones cerebrales, como la percepción del mundo que nos rodea para generar las sensaciones, la motilidad o experiencias todavía más complejas, como las emociones, la memorización, la adopción de decisiones o el pensamiento abstracto.

Una interpretación general apuntaría a que la organización del cerebro se ha dirigido evolutivamente hacia una emulación de la realidad y ha buscado la representación interna de los aspectos más destacados del mundo exterior en forma de actividad neuronal, priorizándolos en términos de su importancia para la supervivencia. Así, en el momento del nacimiento, muchos de esos esquemas organizativos neuronales, aunque todavía modificables, ya están establecidos y su activación da lugar a imágenes coherentes (qualias, cógnitos). Hay numerosas pruebas experimentales de la preexistencia de tales imágenes coherentes en los sistemas sensoriales. Un niño pequeño se asusta frente a una araña o un rugido sin haber estado nunca expuesto antes a esos estímulos. De acuerdo con esta concepción general del cerebro, éste no es, en el momento del nacimiento, una «máquina de aprender» en blanco, sino que dispone de imágenes intrínsecas determinadas genéticamente a través de circuitos preestablecidos cuya activación evoca dichas imágenes.

Para dilucidar el funcionamiento detallado de esos circuitos se emplean nuevos métodos de registro y estimulación externa del cerebro, sano o dañado, en animales de experimentación y en humanos, que van desde el registro eléctrico u óptico de neuronas individuales o en grupo, a la evaluación de la actividad de éstas en áreas cerebrales más amplias, con técnicas como la imagen cerebral funcional mediante resonancia magnética, emisión de protones, espectroscopia de infrarrojos cercanos, o magneto- y electroencefalografía, así como técnicas de estimulación cerebral selectiva, eléctrica o magnética. Estas metodologías permiten medir y eventualmente estimular en seres humanos alerta, la actividad neuronal de áreas y estructuras cerebrales concretas al tiempo que el sujeto es expuesto a imágenes, experiencias sensoriales o emocionales definidas o mientras ejecuta tareas intelectuales o motoras complejas.

Sin embargo, estamos lejos todavía de lograr modelos cuantitativos realistas de la computación cerebral asociada a la actividad mental compleja, pues éstos requieren un conocimiento y análisis funcional muy pormenorizado de los circuitos cerebrales que la sustentan, para poder correlacionarlo después con las correspondientes habilidades cognitivas. Hasta ahora solo se ha conseguido medir la actividad individual en redes multineuronales sencillas asociadas a algunas conductas y elaborar con ella modelos

simples, capaces de replicar a un nivel todavía rudimentario, patrones conductuales de los animales superiores.

No obstante, el neocortex cerebral está construido, en esencia, por un microcircuito básico (la columna cortical), repetido en paralelo con pequeñas diferencias regionales, que constituye, hipotéticamente, una unidad computacional independiente, en la que el análisis minucioso de la arquitectura, conexiones y actividad individual de cada neurona, puede permitir inferir finalmente la capacidad computacional completa de una columna. Otra meta, aún más lejana, es extender ese análisis a los macrocircuitos formados por la interconexión de tales unidades y definir así las capacidades computacionales conjuntas del cerebro.

Ante esta avalancha de datos cabe preguntarse ¿Adónde nos lleva ese nuevo conocimiento científico sobre el sistema nervioso y la mente humana? ¿Cómo impactará sobre nuestra vida personal o la convivencia social y los problemas que ésta comporta?

La respuesta más obvia es, en primer lugar, a tratar de prevenir y curar las patologías del cerebro. Las enfermedades nerviosas y en particular las conductuales y neurodegenerativas, representan en términos socioeconómicos el 50% de la carga por enfermedad en la Unión Europea, son devastadoras a nivel personal y familiar, persisten de por vida y sus tratamientos son limitados y poco específicos. A lo largo de su vida, uno de cada cinco habitantes del mundo sufrirá un problema mental grave. Cuando se entienda su origen en términos genéticos y moleculares y sus mecanismos fisiopatológicos, será posible prevenir y tratar cada enfermedad de modo mucho más efectivo. Aquí se incluyen las posibilidades de la terapia celular, modificando o sustituyendo de modo selectivo grupos celulares dañados, algo que la ingeniería genética nos pone cada día más cerca.

El diseño de nuevos fármacos que modulen la neurotransmisión y la plasticidad en circuitos neurales concretos, en especial los de recompensa, permitirán el tratamiento de muchas de las enfermedades llamadas ‘mentales’ entre las que destaca por su frecuencia (14% de la población europea) la depresión. El consumo de drogas de abuso y de alcohol es un grave problema socioeconómico, que podrá combatirse científicamente cuando hayamos definido sus condicionantes genéticos, los mecanismos moleculares y celulares de la dependencia, la tolerancia y los cambios morfo-funcionales con frecuencia irreversibles que las drogas inducen en los circuitos cerebrales.

Decía antes que las nuevas tecnologías no invasivas de registro y estímulo cerebrales empiezan a ser revolucionarias para la exploración diagnóstica y el tratamiento de las patologías del sistema nervioso central en seres humanos. La estimulación cerebral profunda comienza a ser utilizada en el tratamiento de dolores

resistentes a la medicación, el Parkinson, o la depresión grave. Los avances de la neuroingeniería y la informática han perfeccionado la interacción cerebro-máquina y abren la opción de disponer de prótesis visuales artificiales para los ciegos, de nuevos sistemas interactivos de comunicación en pacientes con daño cerebral y de prótesis inteligentes, controladas por la actividad cerebral, para la recuperación de la actividad motora en pacientes con parálisis causadas por lesiones cerebrales.

Pero el impacto social e individual de las Neurociencias y sus nuevas tecnologías llegan mucho más allá del terreno estrictamente médico y terapéutico.

Sin duda un uso muy útil del conocimiento neurobiológico es su aplicación al desarrollo de nuevos sistemas educativos, hoy basados en puro empirismo. El aprendizaje es, en esencia, un proceso de remodelación de los circuitos cerebrales. Los métodos educativos deben orientarse a potenciar los mecanismos neuronales implicados en el aprendizaje, ajustándose a realidades científicas conocidas, tales como los límites espaciotemporales en la capacidad de almacenar información o el modo óptimo de potenciar y consolidar las interconexiones neuronales. Puede lograrse así extender la capacidad de razonamiento y alcanzar en cada individuo su máximo rendimiento mental.

Los sistemas de Justicia piden a las ciencias del cerebro datos objetivos que den respuesta a las preguntas con las que se enfrentan cada día: ¿Es una persona concreta responsable de su conducta?, ¿cuál era su «estado mental» objetivo en el momento de cometer un acto delictivo y disponía de capacidad real para actuar de otro modo? ¿Qué efectos tienen la adicción a las drogas, la adolescencia o la senectud sobre la capacidad de controlar la propia conducta? ¿Miente una persona? ¿En qué medida está dañado su cerebro? El uso de la imagen cerebral proporciona ya información complementaria, útil para ayudar a decidir en esos temas. El concepto de que el hombre dispone de una total libertad de decisión es más voluntarista que real y sus límites han quedado patentes con datos científicos que revelan, por ejemplo, una objetiva inmadurez en el desarrollo cortical de los circuitos de control de conductas impulsivas en los adolescentes, o que la compresión de áreas corticales específicas por tumores cerebrales no diagnosticados o lesiones neurodegenerativas, puede provocar agresividad descontrolada o comportamientos anormales. En ambos casos, la información científica puede favorecer el sentido final de las decisiones judiciales.

Sin embargo, a nadie escapan las serias implicaciones éticas y los riesgos de un uso abusivo o irresponsable del creciente conocimiento funcional del cerebro y de las tecnologías que pueden afectarlo.

Por ejemplo, en el ámbito laboral, las aseguradoras requieren el uso de técnicas de imagen cerebral para desenmascarar simulaciones. Dentro de lo que se ha dado en llamar Neuroeconomía, los patronos buscan aplicar técnicas de registro de la actividad

cerebral para la selección de empleados, con la intención de descubrir una personalidad determinada a partir de perfiles funcionales cerebrales inconscientes. Los responsables de marketing tratan de definir con esas técnicas qué estímulos sensoriales son los más eficaces para estimular los mecanismos cerebrales de adopción de decisiones que finalmente deciden la adquisición de sus productos, así como métodos objetivos para determinar las preferencias hacia productos o situaciones, basados en la activación de los circuitos emocionales y de recompensa del cerebro.

Como punto final, la industria del recreo aprovecha los progresos de 'la computación antropomórfica' y el continuo perfeccionamiento de las interacciones cerebro-máquina y de la robótica, para hacer comercialmente viable una «realidad virtual plurisensorial», que permitiría activar todos los sistemas de percepción sensorial de manera artificial o natural, creando una representación mental falsa de la realidad, casi indistinguible de la verdadera.

Y muchos más temas espinosos ¿Hasta dónde aceptaremos llegar en la definición planificada de las características genéticas del cerebro de un hijo futuro, para que sea músico, científico o banquero o en mejorar algunas características funcionales del cerebro adulto (memoria, coordinación motora o tolerancia al dolor)? ¿Cuáles son los límites éticos a la lectura de la actividad cerebral asociada a pensamientos, deseos o sentimientos íntimos, o a la introducción directa, en los circuitos cerebrales, de señales externas a través de estimulación, que el sujeto interpretará como propias e incorporará a sus procesos mentales del momento y también a su memoria?

Estas y muchas otras, son cuestiones candentes, sobre las que la sociedad se verá pronto forzada a definirse, trazando límites éticos y legales al uso de la información científica sobre la mente humana. También obligaran a reconsiderar convenciones e ideas preconcebidas sobre las motivaciones y valores de la vida personal y social de los seres humanos.

Por último, un aspecto potencialmente inquietante del explosivo conocimiento científico estrechamente relacionado con el cerebro es la imitación artificial de sus funciones. Los ingenieros informáticos han tratado durante décadas y con poco éxito, de reproducir con los computadores digitales, el característico modo plástico que tiene el cerebro humano para resolver un número ilimitado de problemas diferentes, pues sus computadores digitales solo pueden realizar una tarea ejecutando un programa escrito específicamente para tal propósito. Pero la situación está cambiando muy deprisa. En 2011, Google desarrolló el Google Brain, una red de mil ordenadores con alrededor de 1 millón de neuronas simuladas y mil millones de interconexiones entre ellas programado para detectar patrones repetidos en imágenes, que trabajaba a diferentes niveles de integración de la información. Con él se inauguró el Deep learning (aprendizaje profundo) y la era de la inteligencia artificial, con computadores programados para operar de un modo parecido al cerebro humano, que procesa la

información por la activación específica de un particular circuito neuronal jerarquizado, capaces de resolver un problema no por haber sido programados para esa tarea particular sino por ser aprender tras ser expuestos inicialmente a tareas parecidas ya resueltas y distinguir y reforzar parámetros que se repiten. En solo 5 años, estamos inundados por máquinas que aprenden como el cerebro humano y la AI se ha incorporado a la solución de tareas complejas de la vida diaria (reconocimiento de voz en teléfonos, traducción de idiomas, diagnóstico de imágenes médicas, cirugía robótica, etc.) demostrando también que resuelven problemas que requieren una inteligencia humana, a la que superan en algunos casos. De hecho, el control de instituciones sociales tan importantes como los hospitales, los juzgados o los sistemas financieros está ya en manos de este tipo de máquinas. Y de esta nueva situación generada por el progreso científico, surge la polémica entre quienes consideran el advenimiento de la AI un salto cualitativo en el progreso humano, los que temen que su control por un grupo pequeño de grandes corporaciones industriales otorgue a éstas el control efectivo del mundo o quienes creen que la dependencia humana de máquinas a las que hemos dotado de autonomía intelectual pero que, como nos ocurre con nuestro propio cerebro no entendemos como aprenden, puede ser dañina y cambiar irreversiblemente nuestra estructura social y económica.

Vemos, pues, que una vez más en la historia, el conocimiento científico ofrece una faceta potencialmente amenazadora. Aun así, su avance es imparable y a mi parecer, el modo más seguro y racional de lograr que sirva ante todo para incrementar el bienestar futuro es que la sociedad entera se mantenga vigilante para prevenir su mal uso. Ese es sin duda el caso para los descubrimientos neurocientíficos, que vistos con una perspectiva constructiva, invitan al optimismo, ya que muestran que la rígida concepción determinista de un cerebro fatalmente condicionado por su herencia y por azarosas mutaciones genética como se ha postulado muchas veces, es afortunadamente simplista a la vista de la riqueza de mecanismos epigenéticos, que nos permiten ampliar la plasticidad cerebral y con ello las posibilidades de modificación social y cultural de la conducta humana.

He dicho.