

La fotónica ante el siglo XXI: Hacia una metáfora del cerebro

José A. Martín-Pereda
E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria. 28040 Madrid
jamp@tfo.upm.es

Palabras clave: Fotónica. Neurociencia. Cerebro.

1. – A modo de preámbulo.

Los primeros instrumentos ópticos que el hombre tuvo ante sí fueron, seguramente, las primeras gotas de lluvia que un día cayeron sobre su cabeza hace millones de años. Quizás alguna de estas gotas cayó sobre una superficie plana y aquel hombre, quizás, el primer óptico, descubrió que veía lo que se encontraba debajo de una manera distinta a como lo hacía sin esa gota de lluvia. Y quizás, unos cuantos miles de años después, otro hombre seguramente tan curioso como el anterior, tras haber asado algún animal que diera sustento a su familia, junto a los restos del fuego, encontró que una parte de algún material que se encontraba próximo a ese fuego había formado una pequeña bola de una sustancia casi transparente que también deformaba las imágenes de lo que se encontraba detrás. La miró con curiosidad y, sin saber qué hacer con ella, la guardó para enseñar a sus hijos cómo ver la realidad de una manera distinta a como lo hacían habitualmente.

Esa primera bolita seudotransparente, de algo parecido al cristal, fue lo que el paso de los siglos convertiría en la bola de cristal que seudoadivinos y seudoprofetas siguen usando para suministrar ilusiones a todos aquellos que, o bien las han perdido, o quieren ver otras realidades distintas a las que cada día contemplan cuando salen a la calle.

Pero no solo la siguen usando seudoadivinos y seudoprofetas. También la usan reputados hombres de ciencia y gurús multimillonarios que venden sus servicios a gobiernos y empresas que, como el hombre corriente de la calle con el que nos cruzamos a diario, quieren también saber qué les deparará el mañana y cómo tienen que actuar para ser los más poderosos, los que más competitividad tienen en sus empresas y los que mayor nivel tecnológico alcanzarán.

Esas tareas, que para el hombre de la calle se traducen en horóscopos, lecturas de las cartas del tarot o de los posos de té, los gobiernos y las empresas las denominan Prospectiva Tecnológica y a ella dedican, con mayor o menos abundancia, fondos, tiempo y esfuerzos de, a veces, cientos de personas. ¿Cuál es el resultado de todo ello? Si el hombre de la calle lee su horóscopo diario sabe que lo que le dice no se ha cumplido, porque ese horóscopo concluye cuando acaba el día y nada de lo que le dijo alcanzó la realidad. Pero si un gobierno encarga su horóscopo prospectivo, jamás va a dudar de él porque lo que le anuncia es lo que sucederá al cabo de 10 o 20 años. Y para entonces, ni el que lo encargó ni el que lo hizo se acuerdan ya casi de lo que en su día pronosticaron. Los unos engordaron su cuenta corriente y

los otros cumplieron con una función que dejaba libres sus conciencias de no haber previsto lo que podría ser el futuro. Y nadie engañó a nadie. Los unos dijeron lo que su buen y leal saber y entender les anunciaba para los próximos años y los otros, en algunos casos, intentaron adaptar sus políticas a aquello que parece podría ser un futuro previsible. Y la Historia siguió su curso.

Mis palabras, en esta ocasión, van a seguir dos caminos distintos. Por uno de ellos transitaremos viendo lo que las bolas de cristal de países líderes mundiales dicen sobre la Fotónica en los próximos años. Veremos lo que decenas de expertos han pronosticado y lo que auguran serán los años venideros. Por el otro transitaré solo, acompañado únicamente por lo que mi almohada a veces me insinúa y que, muy posiblemente, no tenga nada que ver con lo que veremos por el otro camino. Pero es posible que, como decía Borges en *El jardín de los senderos que se bifurcan* quizás esta segunda imagen podrá ser incompleta, pero no falsa. Si él decía que había una trama de tiempos que se aproximan, se bifurcan o se cortan, pero que abarca todas las posibilidades, es posible que estos dos caminos por los que voy a transitar, también se bifurquen, se corten, se aproximen y, posiblemente, abarquen también todas las posibilidades.

2. Bolas de cristal que miran al futuro

Desde mediados de los sesenta, algunos gobiernos, principalmente Japón y Estados Unidos, iniciaron la realización de estudios mediante los cuales intentaban analizar qué entornos tecnológicos serían los que un futuro más o menos próximo, un futuro usualmente alejado entre 10 y 30 años, tendrían una mayor importancia. El éxito del programa japonés de 1970 estimuló que, a partir de ese momento, la mayor parte de los países con un cierto peso internacional realizaran estudios equivalentes. La década de los ochenta y parte de la de los noventa vio el inicio de una febril actividad en un área que denominaron "Prospectiva Tecnológica" y que vio su cenit en los resultados que se fueron publicando a partir de 1995. Prácticamente todos los países realizaron ejercicios de uno u otro tipo aunque solo unos pocos los han continuado hasta la fecha.

Los resultados que han sido publicados han mostrado, entre otras cosas, que los entornos tecnológicos que todos los países consideran prioritarios son prácticamente los mismos y que, dentro de ellos, una gran mayoría de sus líneas prioritarias también lo son [1]. Las razones de estos hechos no van a comentarse aquí y solo se hará mención de un aspecto que sí es de destacar en este momento: la importancia que se da en estos estudios a una línea que, bajo distintos apelativos, como Óptica, Fotónica, Optoelectrónica,... aparece en casi todos ellos.

2.a.- Presencia de la Fotónica en los análisis prospectivos

Si, como se ha dicho antes, la mayoría de los entornos tecnológicos analizadas son similares en la mayoría de los países, algo similar ocurre con las líneas prioritarias. Y la Fotónica es casi un común denominador en todos los ejercicios publicados. En ninguno es entorno, pero en la inmensa mayoría es línea. Línea que, también en todos los casos, sirve de apoyo para el desarrollo de algún entorno. Ese entorno es el que siempre recibe mayor atención, conjuntamente con el de las Ciencias de la Vida: es el que con un nombre o con otro aquí conocemos como "Tecnologías de la Información y las

Comunicaciones". Gran Bretaña, Alemania, Francia, Holanda y Suecia, por citar los más significativos, señalan a la Fotónica a un mismo nivel que la Microelectrónica como área prioritaria para el futuro. Y lo dicen no como algo a destacar, sino como algo que está en la mente de todos por resultar conceptualmente obvio. Cada país apunta en la dirección que más le conviene, dependiendo de su situación científica, tecnológica o industrial, y cada país da mayor o menor énfasis a unos temas o a otros. Los detalles son, creo irrelevantes, porque responden a motivaciones de muy distinto cariz. Por eso no voy a entrar en ellos. Pero el hecho fundamental, y que es el que quiero destacar aquí, es que en todos aparece. Creo que todos los que puedan leer estas líneas, y que por razones obvias son de este segmento, hubieran dicho lo mismo sin necesidad de que un estudio prospectivo se lo hubiera dicho. Pero los que tienen que tomar las decisiones necesitan apoyos para tomarlas y estos, a veces, se los proporcionan los análisis prospectivos. En algunas ocasiones, incluso, llegan a hacer caso de las posibles previsiones prospectivas.

Como todo lo que pudiera añadir a lo anterior no sería sino una repetición de lo que puede verse en [1], sobre todo en las referencias bibliográficas que allí se dan, doy por concluidas estas breves líneas de lo que algunos estudios ajenos dicen y entro en lo que, por muy diferentes razones, creo puede ser "otro" futuro, adicional que no sustitutivo, de la Fotónica.

3. Otros caminos, algo heterodoxos, para la Fotónica

3.a.- La Metáfora como elemento de creación científica

La metáfora siempre ha sido considerada como la parte fundamental tanto de cualquier razonamiento científico como del proceso de transformación de las revoluciones científicas. Desde la perspectiva de Michael Foucault [2], de que el pensamiento científico debería ser considerado de igual manera que un texto literario, a la visión de MacCormac [3], de que las explicaciones científicas no funcionan por dichas explicaciones sino por sus metáforas, pasando por la de T. Kuhn [4], de que las metáforas permisibles en un paradigma científico determinan lo que será aceptado como explicación y lo que permanecerá sin resolver, la historia de la Ciencia ha sido siempre la historia de cómo se ha ido pasando de una metáfora a otra para explicar un fenómeno. El ciclo de vida de una metáfora activa determina, de hecho, el ciclo del paradigma que explica. La adopción de una nueva metáfora no es sino el certificado de que nos encontramos ante una nueva transición de paradigmas. De hecho, hay muchos que estiman que el razonamiento a través de metáforas es un hábito y una forma penetrante de pensamiento en sí mismo. Así, R. Rorty [5] afirma que, en general, son las imágenes más que las proposiciones, las metáforas más que las afirmaciones, lo que configura la mayor parte de nuestras convicciones filosóficas.

Y es muy posible que, quizás, en ningún otro terreno como el del entendimiento del cerebro humano y de la formación de las ideas, se haya desarrollado una sucesión de metáforas tan fructífera acerca de las causas de su funcionamiento así como de las enigmáticas relaciones entre el cerebro, la vida mental y la personalidad.

3.b.- De las metáforas del cerebro y de la mente

Las técnicas de cada momento han determinado de forma directa la teoría dada al cerebro y a su forma de actuar. La tecnología del agua de la antigüedad (fuentes, bombas, clepsidras) está detrás del concepto neumático helénico del alma (el *pneuma*). En el siglo V a. d. C., la escuela de Hipócrates planteaba un elemental modelo de la mente basado en cuatro humores cuyo equilibrio o inestabilidad conducía a los trastornos mentales. Un exceso de flema daba lugar a la apatía; un exceso de bilis negra a la melancolía; otro de bilis amarilla a trastornos biliares y uno de sangre, a la iracundia. Dos siglos después, el latino Galeno sofisticaba esta teoría con los "espíritus animales", unos fluidos altamente condensados, que circulaban por el interior de los nervios y llevaban la información al cerebro para volver, desde allí, con la orden a ejecutar. Estos conceptos neumático/hidráulicos llegaron incluso a las teorías "hidráulicas" victorianas de las fuerzas psicodinámicas de la libido, que estimulaban el deseo o la represión.

El Renacimiento trajo consigo la gloria de la Mecánica y así, la primera metáfora mecanicista del cerebro llegó con la afirmación de Descartes de que los animales, a diferencia de los humanos, eran puros autómatas. Era la doctrina de la "bête-machine" que perduró durante siglos. Esta diferencia entre animales y personas reflejaba tanto el dualismo metafísico de Descartes (la mente y el cuerpo son dos elementos diferentes) como la teología cristiana, que negaba el alma en los animales y que, como seres "inconscientes" eran incapaces de sentir dolor o tristeza.

Pero Descartes avanzó un paso más en su metáfora mecanicista. Siguiendo en parte al relojero creador, de Santo Tomás de Aquino, atribuyó nuestras propias experiencias mentales a la función de los órganos del cuerpo que actuaban como los mecanismos de un reloj en el interior de un autómata: "... *la recepción de luz, sonidos, olores, sabores, calor y frío... vienen a nuestra Máquina a través de la disposición de nuestros órganos, ni más ni menos que como vienen los movimientos de un reloj de sus pesas y sus ruedas dentadas*".

Las metáforas del reloj continuaron a lo largo del siglo XVII y Hobbes, en su *De Homine*, intenta encauzar las bases físicas de las ideas hacia una asociación de minúsculos movimientos mecánicos que tienen lugar en el cerebro, con lo que deriva la epistemología hacia una nueva rama de la mecánica newtoniana. Un siglo después, Hartley, en *Observations on Man*, propone que todos los fenómenos mentales proceden de "movimientos vibratorios" en el cerebro, merced a los cuales se producen una serie de leyes de asociación que cohesionan las ideas. Pero de todos estos planteamientos el que sin duda tuvo una mayor influencia, y sigue siendo aun obra de referencia básica, fue *L'Homme Machine*, de La Metrie. En él, basándose en la profunda evidencia existente entre los estados mentales y físicos, describe al cuerpo humano y a su cerebro como "*una máquina que comprime a sus propios muelles – imagen viva del movimiento perpetuo – y el hombre no es sino un conjunto de muelles que se activan recíprocamente unos a otros*".

La Ilustración introdujo nuevos conceptos y la ciencia evolucionó por otros caminos. Y los dispositivos electromecánicos que fueron surgiendo llevaron a plantear en la neurona conceptos de conmutación y puertas, mucho antes de que lo hicieran Aiken y von Neumann. Pascal, Babbage diseñaron estructuras para sumar, restar y

multiplicar y las dieron conceptos que, creían, simulaban a lo que ocurría en el cerebro humano. E incluso Leibniz imaginó una máquina lógica universal en la que por un método general, "*todas las verdades de la razón podrían reducirse a un cierto tipo de cálculo*". La nueva metáfora electromecánica estaba asentada y, en 1949, Hebb [6] planteó la teoría de los circuitos "reverberantes" en los que asentaba el fundamento de la memoria. Podría ser el inicio de la metáfora computacional del cerebro, pero en el camino apareció un sendero que le bifurcó hacia otra nueva metáfora: la de las comunicaciones.

Los sistemas de comunicaciones electrónicas, y más en concreto el telégrafo, dieron a H. von Helmholtz la metáfora fundamental del funcionamiento de la base del sistema nervioso. En los cincuenta, la ecuación diferencial que describe la transmisión a través de un cable coaxial, la conocida ecuación espacio-temporal del telegrafista, diseñada para modelar la propagación de las señales que se transmitían a través de un cable trasatlántico submarino, fue adoptada directamente por Hodgkin y Huxley, en 1952, para realizar sus estudios de la generación y propagación de potenciales de acción en los nervios, estudios que les valieron para la obtención, en 1963, del premio Nobel de Medicina. Su modelo sigue siendo la base de la mayor parte de los estudios en este terreno que se siguen haciendo hoy y así, la metáfora de las comunicaciones sigue siendo paradigma con solución de continuidad.

Pero como era lógico de esperar, la metáfora computacional no podía ser soslayada y, de hecho, constituye la gran base de todo el trabajo que se realiza en nuestros días en la interpretación del cerebro.

Aunque no vamos a entrar, ni siquiera en parte, en este paradigma, si puede ser conveniente, para establecer algunos de los principios que luego se plantearán, dar unas pequeñas nociones de cuál es el núcleo de esta metáfora. En él se plantea la noción de las reglas formales para la manipulación de símbolos, así como algunas ideas acerca de la estructura de datos para la representación de la información. Pero a pesar de la popularidad persuasiva que mantiene esta metáfora, no hay aun evidencia totalmente establecida de manipulación simbólica o de reglas lógicas formales, a nivel neurobiológico, en la fisiología animal. Quizás el único soporte para la manipulación simbólica procede de los estudios neurofisiológicos humanos del uso del lenguaje que demuestran que algunas lesiones específicas del cerebro dan lugar a déficits específicos en el mismo.

Los nombres de McCulloch y Pitts, de von Neumann, de Turing, de Gödel, los términos de "inteligencia artificial", de "ciencia cognitiva", son para todos algo tan familiar que resulta difícil salir de su entorno tratando de encontrar algo que suponga dar un paso adelante saliéndose del camino que trazaron. Hay una tendencia general de establecer toda afirmación acerca de la mente o del cerebro en términos computacionales

3.c.- Metáforas ópticas del cerebro

Las metáforas ópticas del conocimiento tienen una larga historia. La epistemología griega mantuvo que nuestro conocimiento del mundo externo se realizaba a través de "copias" transmitidas ópticamente, las *eidolas*, que los objetos emitían y entraban en nuestro cerebro a través del *pneuma* [7]. Resulta interesante recordar que estas mismas *eidolas*, éste mismo concepto, en latín recibió el nombre de *simulacra*, cuyas derivaciones a la

terminología son claras. Si esta teoría era una teoría de "intrusión", Euclides planteó otra de "extrusión" por la que la radiación partía del ojo del observador para "sentir" los objetos que se encontraban ante él. Entre ambas, Aristóteles planteó una tercera que, con algunas variaciones, llegó a ser la de Galeno que se ha comentado anteriormente.

Sin entrar ya en las teorías vigentes en la Edad Media, principalmente la de Al-Kindi, ni las interpretaciones posteriores de, entre otros, Descartes de la formación de imágenes en el cerebro a través de la retina, parece procedente acercarnos ya a épocas más próximas a las nuestras para plantear qué metáforas han entrado en la explicación del cerebro a partir de la Óptica. Y, sin duda, la más significativa y, a su vez, la que más popularidad alcanzó, fue la metáfora holográfica. Su inspiración procedía del carácter distribuido del almacenaje de la información neuronal en el cerebro y de la relativa insensibilidad del mismo a ciertas perturbaciones o lesiones que pudieran producirse en él. Y así, K. Pribram [8] aplicó en 1969 los trabajos de investigación de van Heerden [9] sobre las propiedades de almacenaje de información en hologramas. Esta interpretación es cierta en la medida en que la memoria aparece distribuida en gran parte de las neuronas, igual que lo está en el holograma. Pero más allá de esta similitud las semejanzas eran nulas. Al menos en la situación en la que se encontraba la holografía en el momento del planteamiento de la metáfora, la idea holográfica no permitía explicar los fenómenos de almacenaje y recuperación de datos. Longuet-Higgins [10], en 1968, hizo un esfuerzo muy significativo para desarrollar esta analogía pero sus intentos no lograron dar una razón satisfactoria de los procesos gracias a los cuales la información se almacena, se recupera, se distribuye y, finalmente, se olvida. Al mismo tiempo, las teorías matemáticas relacionadas con la holografía nada tenían, ni tienen, que ver con las que se pueden aplicar a conjuntos neuronales. Sin embargo, esta metáfora inspiró en parte una cierta investigación sobre el modelizado paralelo de las funciones del cerebro.

4.- Propuestas para una metáfora fotónica del cerebro

4.a.- Consideraciones previas

La situación actual de la Fotónica, y mucho más aun la que todos esperamos se avecine, dista mucho de la que existía a finales de los años sesenta, cuando se planteaban las anteriores metáforas. A pesar de ello, la metáfora computacional del cerebro ha cobrado tal fuerza que muy difícilmente pueden encontrarse intentos de explicaciones del funcionamiento de la mente que se separen de lo que la tecnología de los ordenadores actuales dictamina. A pesar de que existe una larga colección de consideraciones que harían plantearse, al menos, alguna duda sobre la validez absoluta de la metáfora computacional, parece fueran irrelevantes tanto para el entorno neurofisiológico como para el informático. Algunos de estos puntos que cabría señalar serían los siguientes:

El cerebro es, esencialmente, un sistema "hardware". Todas sus funciones se realizan dentro de ese contexto y no hay un "software biológico", al menos en el sentido con que se entiende hoy. En los ordenadores actuales, el software es casi tan importante, si no lo es más, que el hardware. Esta dualidad ha llevado a

planteamientos en los cuales lo que se plantea es que el sistema nervioso es solo el "hardware" y que lo que hace falta conocer es el "software cognitivo". La falacia de este planteamiento queda patente en los trabajos de P. Churchland (véase, por ejemplo [11]-[12])

Si se analizan tiempos, la similitud entre las máquinas que quieren emular al cerebro y el propio cerebro es nula. Un ejemplo aclara este punto. Una persona normal responde en unos 500 mseg al reconocimiento visual de un objeto. Teniendo en cuenta los tiempos de respuesta de las neuronas, no pueden existir más de 100 sinapsis entre la entrada y la salida. Un procesado en serie, como el que actualmente se lleva a cabo con las máquinas en uso, puede sobrepasar fácilmente las 1000 etapas.

El hecho anterior queda aun más de manifiesto si se analiza el proceso visual en la retina de los vertebrados. En ella no aparecen mas que cinco tipos de células y cinco etapas de procesado. Y la retina es capaz de determinar, previamente a la entrada de la señal al nervio óptico, un conjunto de características que para determinarse con máquinas artificiales precisan un número mucho más elevado de etapas.

Como última consideración, y aunque la lista podría alargarse significativamente, queda la que parece más importante de todas. Y puesta en forma de pregunta sería: ¿a través de qué mecanismos la metáfora computacional es capaz de interpretar algo tan elemental en un ser vivo como es la generación de una idea que no haya sido previamente "programada"? O dicho de otra forma, ¿qué planteamiento puede hacerse en la metáfora computacional para justificar el que un conjunto de neuronas, actuando en grupos más o menos grandes, puedan llegar a coordinarse para actuar de forma colectiva y dar lugar a una acción no prevista de antemano?

En el apartado siguiente no intentaré resolver ninguna de las anteriores consideraciones, pero sí dejaré puertas abiertas para intentar atisbar qué hay al otro lado.

4.b.- Hechos que apuntan a una nueva metáfora

Resulta evidente para todo ser vivo, o al menos para la gran mayoría, que su representación del mundo exterior lo es a través de un proceso de entrada de la información en paralelo. No es solo que las imágenes que tenemos ante nosotros lo hagan así, sino que, también en paralelo, oímos sonidos, apreciamos olores o sabores y percibimos sensaciones táctiles. Con mayor o menor atención, el cerebro recibe todo ello al mismo tiempo y sabe cómo procesarlo. Es evidente que cada una de estas sensaciones entra a nuestros organismos merced al estímulo que recibe el correspondiente elemento sensorial y que, a partir de él se inicia un complejo camino que lleva la sensación percibida hasta el centro correspondiente del cerebro, donde es procesada. Pero este camino intermedio es de una tal complejidad, posee una densidad tal de caminos, que en cierta manera es también casi una transmisión en paralelo y un procesado, intermedio y final, igualmente en paralelo. El único similar con el que podemos equiparar todo ello es con la transmisión de la luz. La metáfora óptica entra en escena.

Y si de la sensación global paralela pasamos al interior de ese camino que se ha comentado, desde el elemento sensorial al centro receptor del cerebro, ¿qué nos encontramos?. Nos encontramos que las señales que han ido viajando de un punto a otro han ido cambiando sus características. Un mayor o menor peso, una mayor o menor intensidad de luz, no son detectados como señales

de mayor o menor magnitud. Son detectados como señales que tienen una frecuencia u otra dependiendo de la amplitud del estímulo. La sensación que percibimos no proviene de la magnitud de la respuesta en el órgano sensorial sino de la frecuencia a la que éste la traduce. La biestabilidad óptica nos ha suministrado, desde hace muchos años, ejemplos de comportamientos análogos cuando existe una cierta realimentación: una señal de entrada constante puede convertirse en otra variable de acuerdo con las relaciones existentes entre las constantes de tiempo presentes en el sistema. Señales continuas a la entrada pasan a ser, a la salida, señales de frecuencia variable de acuerdo con la magnitud de aquellas. ¿Qué mecanismos están presentes en el interior de las neuronas que determina este comportamiento? Descripciones cualitativas pueden encontrarse en cualquier libro de Neurofisiología. Análisis cuantitativos, apenas existen. ¿Puede aportar la Fotónica alguna idea? Con toda seguridad, sí. Una metáfora de biestabilidad óptica debería estar presente.

Pero las sensaciones fisiológicas no son sólo magnitudes: son también interpretaciones con respecto a un entorno. La dirección de una línea, según la percibimos, viene determinada no por el conjunto de elementos sensoriales que hayan sido estimulados sino por cómo esos, elementos sensoriales están interconectados con los de su alrededor. Gracias a ello son capaces de llevar una única señal a una zona muy concreta del cerebro que solamente se estimula cuando esa dirección aparece ante nuestros ojos. La concesión de otro Nobel en Medicina, a Hubel y Wiesel, premió ese hallazgo [13]. Si quisiéramos plantearnos de nuevo un símil de todo ello nos encontraríamos ante una estructura de óptica integrada en tres dimensiones, donde cada posible guía puede interactuar con las que se encuentran próximas a ella, donde el medio de guiado posee propiedades no lineales y, consecuentemente, pueden presentarse fenómenos que van desde la pura biestabilidad, que se ha comentado antes, hasta el encaminamiento selectivo de una señal, dependiendo de sus características. Todo ello nos lleva a una nueva metáfora, que sería la suma de una metáfora optoelectrónica y una metáfora de comunicaciones ópticas. Y estas dos metáforas, a su vez, se sumarían en una única que sería la metáfora de la conmutación fotónica. Las múltiples señales que se han recibido se han multiplexado en determinados caminos, han ido a través de un medio común, como pueden ser el nervio óptico o el nervio auditivo, y en el cortex se han demultiplexado para encaminarse a la región que es capaz de interpretarlas. Estructuras de conmutación, ampliamente conocidas en comunicaciones, como las de Benes, o las Banyan, son ejemplos de procesos análogos, pero en un nivel mucho más elemental que el que tiene lugar en cualquier cerebro.

Adicionalmente a lo anterior, que constituye en cierta manera un proceso relativamente sencillo, se encuentra el proceso de transferencia de información entre neuronas. Recientemente [14] se ha planteado que esta transferencia viene determinada por un proceso no lineal denominado resonancia estocástica que parece ser favorecido por la presencia de un cierto tipo de ruido. Las características de este ruido son tan peculiares que no sería extraño encontrar que no es tal sino alguna forma de caos. Y entramos así en un nuevo terreno. Si las neuronas en el cortex han de actuar coordinadas para generar un determinado tipo de respuesta, y esta actividad viene

favorecida por un ruido, y si este ruido no es tal sino que es caos, ¿habrá sincronización entre unas regiones y otras, entre neuronas emisoras y neuronas receptoras? El símil con la sincronización de generadores de caos, en el emisor y el receptor, en sistemas de comunicaciones ópticas parece posible. Y así la metáfora fotónica entra en escena. Metáfora que puede retrotraerse a etapas mucho más elementales si introducimos el viejo concepto de la coherencia. Pero esta idea ya fue planteada por H. Haken [15] hace ya muchos años y en su palabras de entonces, y en las que ha seguido publicando desde entonces [16]-[17], pueden encontrarse justificaciones mucho más rigurosas que las que podría plantear yo aquí.

5.- Posibles conclusiones

Resultaría absurdo por mi parte pretender que las breves líneas que anteceden dieran una interpretación a determinados aspectos del funcionamiento del cerebro. Como he comentado antes, solo he pretendido con ellas poner énfasis en que hay otros caminos para la Fotónica y que estos caminos no deben estar guiados, como muchas veces lo han estado, por el intento de realizar con fotones lo que antes se hacía con electrones.

El siglo XXI parece será el siglo de las Ciencias de la Vida y más en concreto, el siglo en el que el principal reto al que se enfrentará la Ciencia será el de intentar acercarse un poco más a la comprensión del cerebro humano. La Fotónica no debe quedarse en los terrenos en los que se ha movido con relativa comodidad hasta ahora, sino que debe aportar lo que pueda a ese nuevo camino que se presenta. Las armas de las que dispone son mucho más potentes de lo que pensamos. Solo es necesario saber que existen y saber manejarlas.

Y al mismo tiempo que aparece esta aportación, la Fotónica debe también extraer lecciones de cómo la Naturaleza ha resuelto problemas muy similares a los que ella misma trata de resolver hoy. La Vida ha ido adaptándose a las soluciones que mejor satisfacían unas ciertas necesidades a través de millones de años. Quizás algunas de esas soluciones, desde un punto de vista ingenieril de hoy, no han sido las soluciones más economicamente rentables o las más eficientes en una perspectiva de simplicidad, pero han sido soluciones que han resistido el paso de los años. Cabe, al menos plantearse, la duda de que alguna justificación habrán tenido. Y, por ello, alguna lección podrá extraerse de ellas.

6. - Bibliografía.

- [1] Martín Pereda, J.A. y A. González-Marcos, "Análisis de los procesos de Prospectiva Tecnológica en países de la Unión Europea". COTEC. 2003 (en prensa).
- [2] Foucault, M. "The Order of Things: An Archeology of the Human Sciences". Randon House. New York. 1973.
- [3] MacCormac, E.R. "A Cognitive Theory of Metaphor". MIT Press. Cambridge. 1985.
- [4] Khun, T. "The Structure of Scientific Revolutions". University of Chicago Press. Chicago. 1962.
- [5] Rorty, R. "Philosophy and the Mirror of Nature". Princenton University Press. Princenton. 1979.
- [6] Hebb, D. "The Organization of Behavior". Wiley. New York. 1949.
- [7] "Science in the Middle Ages". Editor: D.C. Lindberg. University of Chicago Press. Chicago. 1978.

- [8] Pribram, K. "The neurophysiology of remembering". Scientific American, 200, 73-86. 1969
- [9] Van Heerden, P. "Theory of optical information in solids". Applied Optics, 2, 393-400. 1963.
- [10] Longuet-Higgins, H.C., "The non-local storage of temporal information". Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 171, 327-334. 1968
- [11] Churchland, P.S., "Neurophilosophy. Toward a Unified Science of Mind/Brain". MIT Press. Cambridge. 1992.
- [12] Churchland, P.S., "The Computational Brain". MIT Press. Cambridge. 1994.
- [13] D.H. Hubel and T.N. Wiesel, "The Ferrier Lecture: Functional architecture of macaque monkey visual cortex", Proc. R. Soc. London. B. 198, 1-59. 1977.
- [14] Moss, F., "Noise is good for the brain", Physics World. 15, Feb. 1997.
- [15] Haken, H., "Synergetics, An Introduction", Springer. Berlin. 1979.
- [16] Haken, H., "Advanced Synergetics", Springer. Berlin. 1993.
- [17] Haken, H., "Principles of Brain Functioning", Springer. Berlin. 1996.