

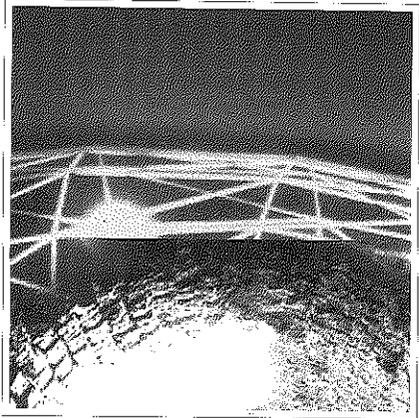
VICENTE CABALLERO
DE LA TORRE.
LICENCIADO EN FILOSOFÍA.
DOCTORANDO EN LA U.C.M.

Redes, lógicas no clásicas y neuronas¹. De los límites de la matematización más allá de la física

En el presente artículo se exponen las líneas maestras de la Teoría de Grafos y aquellos problemas de corte formal que la misma muestra como modelo para explicar el funcionamiento del cerebro. Las redes, concepto que dicha teoría intenta sistematizar y comprender matemáticamente, son de sumo interés para cualquier profesor que pretenda arrojar una cierta luz sobre el perfil que en la actualidad están tomando el terrorismo, la cibernética y, por supuesto, las últimas investigaciones neurocientíficas.

In this article the author states the graphs theory and the problems shown by this not so successful model to explain the brain processes. The networks –«network» is a concept we cannot understand without graphs theory– are very interesting for those teachers who want to explain to their student important and different current problems like terrorism, Internet or our brain itself.

Todo profesor de Filosofía, sea de Enseñanza Secundaria como Universitaria sabe que es una cuestión de absoluta actualidad la creciente investigación neurocientífica así como la expansión y desarrollo de las nuevas tecnologías de la información, comunicación y, por qué no decirlo, de almacenamiento y archivo de datos². Son también conocidos para todo aquel que tiene algunas nociones, siquiera someras, de la evolución de la Psicología en las últimas décadas, los intentos más o menos afortunados de analogar la relación mente-cerebro con la existente entre el *hardware* y el *software* de un computador. A tal posición se la denomina IA, siglas de Inteligencia Artificial y, según sus versiones, se la apellida con los adjetivos *fuerte* o *débil*. Igualmente, aquellos que han impartido la materia optativa de *Psicología* del Bachillerato LOGSE, y han manejado algunos de los manuales que para ella se han preparado, habrán podido comprobar los numerosos guiños que allí se hacen a tales posicio-



nes filocibernéticas en detrimento de otros cánones de la Psicología, como la *Gestalt* o el Conductismo. Lo que no es tan sabido es que la investigación en clave de IA se ha dado en el marco de la Economía³ y de la Teoría de la Elección Racional⁴. La finalidad última del presente artículo es generar una actitud en el profesorado de *no ingenuidad*, de criticismo, frente a este tipo de analogías cibernéticas contenidas en los desarrollos que los manuales hacen de los *curricula*, de modo que puedan transmitir ese talante escéptico, si lo consideran pertinente y siempre en la medida de lo posible, a su alumnado. Comencemos, pues.

Las Matemáticas y la Lógica han tenido un gran protagonismo en todo este tipo de investigaciones, pero han sido valoradas de dos formas muy distintas. En este artículo, al hilo de una breve exposición de la Teoría de Grafos, se va a *mostrar* más que decir –parafraseando a Wittgenstein– una de esas valoraciones para después diagnosticar en qué falla el isomorfismo entre las redes de información y el funcionamiento neuronal, planteando por último una concepción alternativa de las Matemáticas, que puede entroncarse en la tradición fenomenológica, distinta a cualquiera de las dos que a continuación van a ser descritas y desde las cuales se han llevado a cabo las investigaciones, teóricas y prácticas, en IA. Son éstas:

– *Esencialismo reduccionista*. Como el practicado por Penrose, con aroma russeiliano, consistente en postular una suerte de matematicismo platonizante por el cual toda realidad estaría fundamentada en unos entes ideales de naturaleza lógico-matemática.

– *Instrumentalismo de las Matemáticas y de las distintas Lógicas* –repárese en el plural: bien puede ser booleana, polivalente de Lukasiewicz, etc.– por el cual se las concibe como ciencias auxiliares de una serie de ciencias positivas que sí tendrían, estas últimas, el cometido de mapear representativamente la realidad.

A esta última actitud responde, en buena medida, la recuperación de la Teoría de Grafos como una herramienta matemática más, útil para el análisis de determinadas realidades, que puede reportarnos ventajas técnicas o de conocimiento científico a medio plazo. Ya Echeverría, en *Cosmopolitas domésticos* y en *Los señores del aire*, señala el interés de la Teoría de Grafos (o *Analysis Situs* leibniziano) para analizar el fenómeno de la red mundial (*world wide web*). Pero la Teoría de Grafos, en articulación con la lógica borrosa, también se ha venido utilizando para emulaciones en Neuromimética. Mediante el uso conjunto de ambas se está tratando de conseguir dar respuesta, según Kaufmann y Aluja –y es aquí cuando se supone (véase nota 3) que se refieren a la Economía–, a los problemas de carácter altamente combinatorio, «los problemas más importantes que se

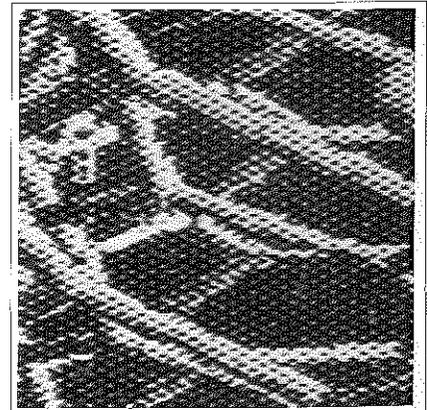
presentan al hombre, puesto que los ordenadores actuales con su lenguaje binario y su carácter secuencial, escasamente paralelo, no pueden atravesar una especie de muro levantado por numerosas estructuras altamente combinatorias. Así pues, lo que no puede pasar con la suficiente rapidez por una conducción, se hace circular por muchos, millares, millones y quizá algún día billones en paralelo o mejor dicho a través de una red»⁵.

Pues bien, la Red ya está aquí. Y no sólo como esa realidad que recorre buena parte de hogares, oficinas, negocios en industrias del Oriente y Occidente capitalistas sino como concepto que lo engloba todo. Los laboratorios, se dice, deben investigar en red. El cerebro se compone de redes neuronales. Las empresas multinacionales, unidas por la Red, descentralizan la producción evadiendo, de paso, presiones fiscales indeseables. Las entidades meta-económicas (financieras) –las que generan plusvalías especulativas o de segundo grado (inmateriales)– han visto cómo han caído las fronteras. Y, mientras tanto, el auge de la Psicología Cognitiva continúa, constituyéndose en saber emancipado de la Psicología: en Neurociencia⁶.

No va ser el objeto del presente trabajo ocuparnos de criticar el Esencialismo matemático o cualquier otra posición filosófica que tenga como base el dualismo metafísico⁷ y el representacionismo. Vamos a tratar de esbozar otra línea de abordaje de los problemas cibernéticos y psicológicos cuyo origen remoto radica, no obstante, también en el Racionalismo, más concretamente, en el Perspectivismo leibniziano, el cual asentó las bases de la combinatoria proposicional y la teoría de grafos.

Para captar con claridad el contexto en el cual se encuadra la importancia de la teoría de grafos debemos, siguiendo a Echeverría⁸, empezar por reconocer veinte propiedades –sin duda serán más– que diferencian lo que el autor de *Los señores del aire* denomina Tercer Entorno (lo virtual, mediático y telemático) y que se presentan en pares de opuestos. La mera enumeración de las mismas supone la propuesta de un ingente plan de trabajo:

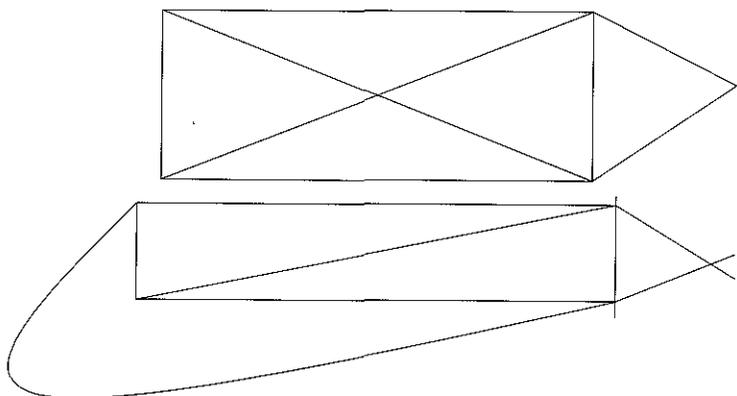
1. Proximalidad vs. Distalidad
2. Recintualidad vs. Reticularidad
3. Presencia vs. Representación
4. Materialidad vs. Información
5. Naturalidad vs. Artificialidad
6. Sincronía vs. Multicronía
7. Extensión vs. Comprensión
8. Movilidad física vs. Flujos eléctricos
9. Lentitud vs. Rapidez
10. Terrestre vs. Aéreo
11. Estable vs. Inestable
12. Localizado vs. Global
13. Pentasensorial vs. Bisensorial



14. Memoria natural vs. Memoria artificial
15. Analógico vs. Digital
16. Diversificación semiótica vs. Integración
17. Homogeneidad vs. Heterogeneidad
18. Nacionalidad vs. Transnacionalidad
19. Autosuficiencia vs. Interdependencia
20. Producción vs. Consumo

Algunas de estas oposiciones tienen desarrollos muy interesantes en algunas obras o artículos. Así, la oposición número 9 y, en cierta forma, la 10 la encontramos en las reflexiones de Paul Virilio en *Cibermundo, la política de lo peor*. En este trabajo, lo que trataré de hacer, es esbozar los fundamentos matemáticos no clásicos de la *reticularidad* (oposición 2), ya que las Matemáticas convencionales han tratado el espacio conforme a las magnitudes, especialmente desde la Geometría analítica cartesiana, es decir, desde el paradigma del *recinto*. Pero ese esbozo no puede hacerse al margen de algún modelo de lo que es una red en general ya que el desarrollo de la teoría de grafos se ha dado en tres ámbitos pertenecientes a esferas, en principio, heterogéneas: la economía y gestión de un lado, la neuropsicología cognitiva –¿por otro?– y el desarrollo de las redes informacionales.

Pero ¿qué es exactamente una red? Una red es un grafo. Un grafo es una representación matemática por la cual se pretende dar cuenta de cómo están conectados una serie de puntos de modo que cualquier propiedad métrica carece totalmente de interés. En un grafo pueden distinguirse las líneas, denominadas aristas, y los puntos, que son los lugares donde se unen unas líneas con otras. Como vemos, la representación tiene aquí un carácter puramente instrumental: dos grafos son isomorfos si expresan la misma conexión, independiente de su forma. Los grafos que se presentan a continuación lo son:



Pero también son los mismos grafos los siguientes:

	a	b	c	d	e	f	g	h
a								
b								
c			x					
d		x	x					
e				x	x	x	x	x
f				x	x	x	x	x
g				x				x
h				x				x

$T_a = \text{conjunto vacío}$

$T_b = \text{conjunto vacío}$

$T_c = [c]$

$T_d = [b, c]$

$T_e = [d, e, f, g, h]$

$T_f = [d, e, f, g, h]$

$T_g = [d, h]$

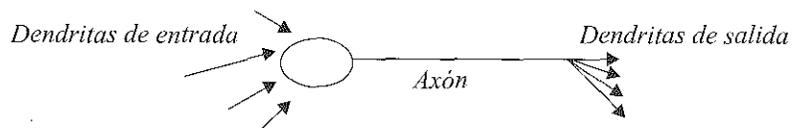
$T_h = [d, h]$

De modo que un grafo se puede definir mediante una matriz booleana por la cual a toda marca X en la primera figura le corresponde un 1 en la matriz y un 0 a las demás casillas no marcadas.

	a	b	c	d	e	f	g	h
a	0	0	0	0	0	0	0	0
b	0	0	0	0	0	0	0	0
c	0	0	1	0	0	0	0	0
d	0	1	1	0	0	0	0	0
e	0	0	0	1	1	1	1	1
f	0	0	0	1	1	1	1	1
g	0	0	0	1	0	0	0	1
h	0	0	0	1	0	0	0	1

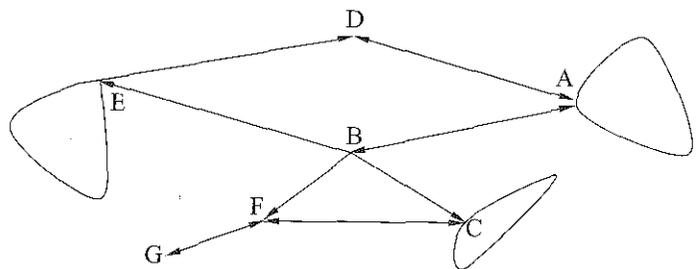
Los grafos resultan muy útiles para emular conexiones neuronales. Como es sabido, una neurona es una célula compuesta por un cuerpo celular y un núcleo. El cuerpo celular se ramifica formando numerosas dendritas a través de las cuales la neurona establece un contacto con otras neuronas: a este enlace se le denomina *sinapsis* y se establece mediante el *axón*, una suerte de apéndice que procede del cuerpo neuronal y del cual salen las ramificaciones dendríticas. Según los potenciales eléctricos de las dendritas los canales iónicos de las neuronas pueden abrirse o permanecer cerrados, de modo que las neu-

ronas no están permanentemente receptivas con respecto a la estimulación externa —entendiendo por *exterior* lo que *no* es esa neurona específica. De modo que podría representarse con el siguiente grafo:



La correspondencia entre el sistema nervioso y un grafo puede darse de la siguiente manera: la neurona y su axón, constituyen el vértice del grafo; las dendritas de entrada son aristas (o arcos) que inciden hacia el interior del vértice; finalmente, las dendritas de salida serían aquellas aristas (o arcos) que inciden hacia el exterior del vértice. Según el modelo de McCulloch y Pitts⁹ cada dendrita de entrada permite el paso de una señal que es igual a +1 (excitación) o bien -1 (inhibición). Una variante consiste en escoger en todos los casos el intervalo [0,1] en lugar de [-1,1], conforme a la notación booleana.

La teoría de grafos es muy amplia y compleja y permite distintas clasificaciones de los mismos. Aquí nos interesarán, por motivos que veremos muy pronto, los denominados *grafos fuertemente conexos*, que son aquellos en los cuales existe un camino que va desde un vértice cualquiera del grafo a otro. De modo que puede ser que un grafo no fuertemente conexo pueda descomponerse en subgrafos fuertemente conexos. A los subgrafos fuertemente conexos no contenidos a su vez por otro subgrafo fuertemente conexo se los denomina *máximos*. Observemos la figura:



Los subgrafos formados por [A, B, D, E] de una parte y [C, F, G] por otra, son fuertemente conexos máximos. Los formados por [A, B, D] o bien [C, F], son fuertemente conexos no máximos. Pues bien, aquí radica la analogía computacional entre las redes neuronales y ciertas redes artificiales. Las neuronas se disponen constituyendo en total un tejido no fuertemente conexo que comprende sub-redes fuertemente conexas cuyos enlaces son zonas de fractura cuyo daño hace imposible la recuperación de ciertas informaciones que, no obstante, en sí mismas no habrían sufrido lesión alguna.

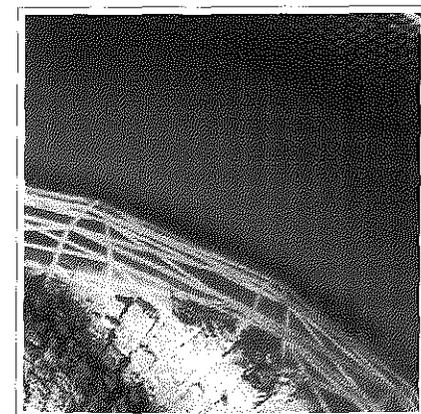
La relación del tipo *hay una trayectoria que lleva de P a Q y de Q a P en un grafo* es una relación simétrica y transitiva y, por tanto, es una relación de equivalencia, formando así una clase. De modo que, en el caso del mapeo cerebral, encontraríamos un serio fundamento de la existencia de *regiones*. Esto, a su vez, parece servir de base a las teorías cognitivas de la modularidad de la mente. Sin embargo veremos que tal extrapolación —como si de una disposición en términos de *hardware* se pudiese extraer la distribución de los archivos y ejecutables de un supuesto *sistema* denominado «conciencia»— está plagada de problemas.

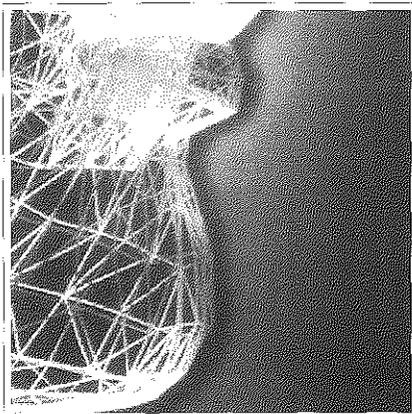
No es óbice, sin embargo, para la analogía entre un grafo no fuertemente conexo (con subgrafos que sí lo serían) y el cerebro, la naturaleza tridimensional de este último. Obteniendo los subgrafos fuertemente conexos podemos hallar la función ordinal global y conocer cuántos niveles (*capas* o *estratos* en el lenguaje de la Neuromimética) posee el Grafo principal. Y aquí es urgente hacer una pronta aclaración: los niveles no son clases ya que lo único que los niveles indican es el orden que se debe seguir para no romper una trayectoria continua siguiendo la dirección de los arcos. La hipótesis de la modularidad de la mente sólo podría cimentarse, pues, en el modelo grafológico del cerebro *desde un punto de vista negativo*, es decir, no podría afirmar que la mente está dividida en regiones según sus contenidos informacionales como si las redes neuronales se atuviesen a una disposición en sendos conjuntos sino que, a lo sumo, y como ya se ha adelantado antes, podría decir: *es imposible* recuperar una región de conciencia perdida si se ha dañado una de las zonas de fractura/juntura entre los distintos subgrafos.

No obstante, sí hay una cierta relación entre los niveles y las clases constituidas por grafos fuertemente conexos: la que aparece cuando apreciamos que las neuronas pueden tomar configuraciones en las que es frecuente la presencia de circuitos (repárese en que pueden existir circuitos pero no bucles, pues las neuronas no tienen sus dendritas sobre sí mismas) Y es *exclusivamente* en aquellas zonas del cerebro donde podamos establecer la existencia de circuitos que la descomposición en clases de neuronas —es decir, en grafos fuertemente conexos— nos va a poner ante configuraciones con función ordinal.

¿Cómo se conocería, pues, en general, el número de niveles del Grafo principal? Se escogen aquellos vértices que carecen de predecesor, los cuales formarían el nivel 0, y luego se eliminan. Repetimos la misma operación, obtenemos el nivel 1, y así hasta hacer desaparecer el grafo¹⁰.

Ya tenemos —si se nos permite seguir la clásica distinción freudiana— la Tópica, si bien rudimentariamente caracterizada, de la red





neuronal. Veamos a continuación la Dinámica, que ha de tener en cuenta el dato esencial de que las señales que entran y salen de nuestras neuronas no son simples y no pueden, pues, ser interpretadas en los secos términos booleanos –sin ningún tipo de matiz– ya que encontramos en su funcionamiento natural diversas modulaciones de frecuencia que tienen lugar en milésimas de segundo.

Los grafos pueden potenciar su capacidad de emulación de los procesos dinámicos de las redes neuronales mediante la introducción de inferencias lógicas. Una introducción que se ha llevado a cabo desde un paradigma

que entiende a cada una de ella como *ars*, como un instrumental útil de análisis, de modo que puede usarse cualquier tipo de lógica borrosa que admita valores intermedios entre los dos valores booleanos (1,0), que son interpretados como umbrales. Entre las hipótesis del funcionamiento de las transmisiones neuronales que no requieren de la introducción de inferencias lógicas encontramos las dos siguientes:

Hipótesis I. *La entrada global es el valor medio:*

$$a = 1/n^n \sum_{i=1}^n a^i w^i$$

Hipótesis II. *La entrada global es la señal ponderada dominante.*

Estas son las premisas que ambas tienen en común:

- Cada dendrita sináptica aporta una señal a^i .
- En a^i , i es un número natural desde el 1 hasta n .
- Cada una de estas señales tiene un peso w^i y da lugar a $a^i w^i$.
- Los valores de a^i y de w^i se atienen a la dicotomía booleana.

De modo que, de esta forma, podría darse cuenta de la estimulación de una neurona en función del valor medio de las $a^i w^i$ –es decir, en función de la cantidad de estimulación recibida de las distintas neuronas con las cuales se halla vinculada– obteniendo como resultado que la entrada global no crece de forma monótona, lo cual es una buena interpretación puesto que investigaciones sobre las redes neuronales de los invertebrados llevadas a cabo en los años 60 y 70 revelaron la existencia de propiedades muy complejas en las membranas de las células nerviosas; propiedades, muchas de ellas, no lineales, de forma que queda claro que el modelo simplista de sumación algebraica (o de *creci-*

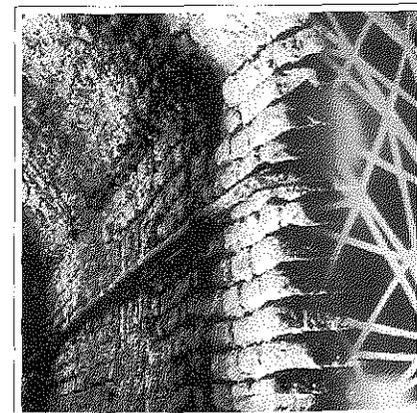
miento monótono) debía ser desechado y por este mismo motivo no ha sido incluido en las tres hipótesis descritas más arriba.

Pero otro modo, como ya se ha dicho, de pensar la entrada global consiste no en considerarla sujeta a un umbral sino a una *inferencia elegida según el problema que se pretenda resolver*. La única condición general de la elección es la naturaleza borrosa del tipo de inferencia. Se entiende *borrosidad* en un sentido laxo, como *no-binariedad*. En cualquier caso, el valor «J»¹² ó «1/2» –frente a «V» y «F» ó «1» y «0»– significa *ausencia de señal* (neurona inactiva) o bien *señal blanca* (sin novedad informativa, la neurona se mantiene en el mismo estado), mientras que «V» («1») vendría a decir que la neurona es estimulada (lo que se corresponde con la superación de un umbral) y «F» («0») que no acusa recibo de la señal entrante por escasez de la carga.

De modo que, como es fácil observar, la binariedad, si bien con matices, persiste: o la neurona acusa recibo o no acusa, pudiéndose desglosar esto último, a su vez, en dos motivos: escasez de la carga entrante («0») o impermeabilidad de la neurona («1/2»).

Pero, además, el modelo binario para comprender el funcionamiento neuronal choca con el funcionamiento completamente analógico de todo aquello que ocurre entre la membrana y el núcleo de la célula neuronal, deviniendo ésta en una auténtica *black box* para este tipo de abordajes logicistas-matematizantes. Y si bien encontramos allí, no obstante, procesos físico-químicos (de ahí la pertinencia de la Bioquímica y la Biofísica), esto no constituye ninguna contrariedad a la hipótesis de la pluralidad de las ciencias, pues esta mezcla de lo biológico-físico-químico en los estudios de ciertos procesos se debe a las escalas fenomenológicas intermedias con las que hemos de afrontar ciertos objetos y no a que procesos superiores sean *in re* epifenómenos emergentes de otros inferiores, de forma que toda ciencia pudiese reducirse en última instancia a la Física y quién sabe si ésta –a través de la Cuántica (Penrose)– a las Matemáticas y la Lógica.

Esto último, por lo que refiere a los guiños al Logicismo (platonizante o instrumental, nos es indiferente) que encontramos en la Teoría de redes neuronales. En cuanto a los modelos reticulares *qua* reticulares, ya Ramón y Cajal subrayó la unidad *anatómica* de la neurona, la cual establecía relaciones de contigüidad y no de continuidad con el resto de neuronas. No obstante, esta unidad de la neurona sufrió una interpretación desviada al considerar que todas las neuronas eran iguales desde el punto de vista de la excitabilidad, de modo que los estados funcionales diferenciales del sistema dependían del cariz que las conexio-



nes reticulares adoptaban y no de la existencia de especies neuronales¹² cuya diferencia estribaría en las distintas propiedades de sus membranas —y uso deliberadamente el término especie y no el de conjunto que utilicé más arriba, ya que quiero hacer hincapié en el carácter *intensional*¹³ y no *extensional* de la agrupación. La hipótesis de la igualdad de las neuronas ha quedado notablemente en entredicho por la aplicación a mamíferos de técnicas *in vitro* que han puesto en evidencia la importancia de las hipótesis que atribuyen *propiedades eléctricas intrínsecas* a las neuronas. Unas propiedades que no las encontramos tan sólo allende la membrana neuronal —en el interior— sino ya en la misma membrana, en forma de oscilaciones de su potencial —de modo que pueda responder, discriminando, a determinadas frecuencias y *no ateniéndose sólo* al montante de las cargas. Podemos concluir, pues, que la emulación en clave de inferencia lógica no es, en absoluto, una descripción fiel de la realidad de los procesos electroquímicos que concurren en el cerebro.

Una vez esbozadas las cuestiones críticas no quisiera dar fin a este artículo sin hacer una reflexión explícita acerca del estatuto filosófico de las Matemáticas que ya se ha ido esbozando negativamente —en tanto lo que no es— durante el desarrollo de este artículo.

En efecto, la Matemática moderna (barroca) aplicó la axiomática griega a objetos, tales como el Infinito, carentes, no obstante, de las virtudes intuitivas o construibles de la geometría euclídea, lo cual hace inaplicable el principio de Tercio excluso¹⁴. En 1931 Gödel demostró que el Formalismo (en cuya nómina encontramos a Whitehead y Russell) estaba condenado al fracaso y que lo único demostrable en un sistema formal axiomático era su incoherencia y nunca, de tenerla, su coherencia. De todos modos la tendencia formalista no perdió fuerza y el Intuicionismo, siempre crítico con la idea de los objetos matemáticos preexistentes, quedó en una simple curiosidad matemática. Pues bien, esa obcecación es la que aún venimos sufriendo en forma de un arraigado prejuicio monista (que reproduce, vía *epifenomenismo*, el dualismo metafísico más tradicional) en la comunidad científica¹⁵, especialmente en la de los físicos. Y, sin embargo, el Intuicionismo —en el campo de las Matemáticas— si es despojado de sus prejuicios mentalistas de rai-gambre kantiana¹⁶, puede erigir un modelo tan eficiente y rico como el clásico, tal y como ha mostrado Bishop¹⁷.

Pero el examen del posible entronque del Constructivismo de Bishop en una posición fenomenológica con respecto a la cuestión del conocimiento merece trabajo aparte.

Notas

- 1 En homenaje al título de la obra de SEARLE, *Mentes, cerebros y ciencia*. Cátedra, Madrid, 1990.
- 2 Como escribe Echeverría, «[...] la construcción de interfaces cómodas, rápidas y sencillas para acceder a esta memoria electrónica depositada en el tercer entorno tiene una relevancia económica y social indudable. Centrarse en la revolución suscitada

por las telecomunicaciones y olvidar la profunda transformación experimentada por los sistemas mnemónicos equivale a ignorar un componente esencial de la vida social e individual en cualquiera de los tres entornos». *Los señores del aire. Telépolis y el tercer entorno*. Destino, Barcelona, 1999, p. 111.

- 3 Aunque, en ocasiones, no se encuentre referencia explícita alguna a la Economía ni a la Administración empresarial, como ocurre en la obra, a pesar de su título, referenciada en nota anterior.
- 4 Que vino a poner de relieve, paradójicamente, con la figura denominada Dilema del Prisionero, el callejón sin salida al que conduce la toma de decisiones bajo los parámetros neoliberales más extremos.
- 5 KAUFMANN, A. y GIL ALUJA, J.: *Grafos neuronales para la Economía y la Gestión de Empresas*. Pirámide, Madrid, 1995.
- 6 Para una comprensión del sentido ideológico que para el autor tiene este tipo de discurso véase de ROBLES, F. J. y CABALLERO, V.: «Mentalismo mágico y sociedad telemática», en *Cuaderno de Materiales*, 18 (2003), 21-34. También disponible en formato digital: www.filosofia.net/materiales/num/num18/Mentalismo1.htm e ídem [/Mentalismo2.htm](http://www.filosofia.net/materiales/num/num18/Mentalismo2.htm).
- 7 Esta crítica se encuentra desarrollada en:
FUENTES, J. B. y ROBLES, F. J.: «Psicología cognitiva: una revitalización del positivismo lógico en clave computacional», en *Revista de Filosofía* (CSIC), julio-diciembre (1986), 313-329.
ROBLES, F. J.: «Acerca de la naturaleza aporética de las psicologías cartesianas o representacionales», en *El Basilisco*, 12 (1992), 61-68.
Véase el capítulo de ROBLES, F. J.: «Experiencia fenoménica versus representación computacional», en V.V.A.A., *Terminología científico-social. Aproximación crítica*. Anthropos, Barcelona, 1991, pp. 232-238.
- 8 Ibidem nota 1.
- 9 MCCULLOCH, W. S. y PITTS, N.: «A logical calculus of the ideas immanent in nervous system», en *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5 (1943), 115-133.
- 10 Hay, no obstante, métodos matriciales menos intuitivos pero más efectivos cuando se trata de grafos harto complicados, con un gran número de vértices y arcos. Véase bibliografía referenciada en nota 2.
- 11 Abreviatura de «Indeterminado».
- 12 Reconocemos distintas oscilaciones según se trate de las neuronas de la oliva inferior, neuronas talámicas, corticales, etc. Véase, de FERNÁNDEZ DE MOLINA, A.: «Oscilación y resonancia en el sistema nervioso central», en *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina*, tomo CLIX, cuaderno segundo (separata), pp. 387-404.

- 13 El carácter intensional no da pie a interpretaciones legitimadoras de las tesis pro-modularidad de la mente.
- 14 Jamás será posible la comprobación de si en una bolsa de manzanas hay una manzana roja o no la hay, si el número de manzanas es infinito. Se podrá saber si se saca una manzana roja que al menos hay una, pero *si no* es así, la afirmación «hay una manzana roja o no la hay» en un conjunto infinito carece de sentido.
- 15 Y la única oposición capaz de ensombrecerlo que encontramos en la actualidad, es la descorazonadora actitud posmoderna, para la cual no puede haber conocimiento desinteresado en ninguno de los estadios de la investigación y desarrollo científicos, siendo su único resultado la utilidad.
- 16 Incluso Heidegger tuvo que reconocer, en el cuarto prólogo de *Kant y el problema de la Metafísica*, que no había forma de interpretar en clave del *Dasein* (es decir, eludiendo la representación y el dualismo) al sujeto trascendental kantiano.
- 17 Cuyo objetivo no es dar nuevos cimientos a las Matemáticas, sino practicarlas de forma constructiva conforme a una noción pragmático-fenomenológica de las mismas. Ya que, por ser los criterios de aceptabilidad de las Matemáticas constructivas más rigurosos que los de las no constructivas, todo teorema verificado constructivamente lo es también no constructivamente a la vez que dos teoremas constructivamente diferentes pueden tener la misma interpretación no constructiva. Para Bishop las matemáticas usuales serían una rama de ese nuevo proyecto de matemáticas constructivas.