

ASPECTOS BIOSEMIÓTICOS DE LA CONCIENCIA

En búsqueda de los signos de la vida y su referencia a la conciencia como principio teleonómico

ÓSCAR CASTRO GARCIA

Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN: Tanto ciencia como filosofía han querido explicar la conciencia como culmen de nuestra experiencia vital. Inteligencia, intuición, conocimiento, emociones, capacidad de razonar, percepción, entre otras propiedades integradas en nuestra experiencia psicobiológica, nos acompañan ontogénica y filogénicamente. Pero no hay un consenso explicativo sobre la conciencia. Su atribución sólo al ser humano no parece hoy admisible tanto en ciencia, como en su comprensión profunda filosófica. Sería como si la etología pudiese conectar con la biología celular, incluso molecular y, así crear una etología comparativa. Nos referimos a todo ser vivo, al determinar aspectos muy concretos de lo que es «percibir el medio circundante», el *umwelt* de Jacob von Uexküll. Este artículo trata los rasgos bio-semióticos neurales que pueden conducirnos a señales o signos que suponen conciencia o a características que comprendan transducción de información y su posterior respuesta consecuente. Hablaremos de la biosemiótica actual, en lo referente a los signos que provocan información en las máquinas celulares, para trascender el sentido de máquina celular cuando existen signos de percepción tanto de su autoorganización y como de su entorno (emergencia de la conciencia). Para ello nos centraremos en la biofísica de los microtúbulos (Hameroff-Penrose) y de los biofotones del profesor Fritz Albert Popp aplicados a los procesos sinápticos del cerebro.

PALABRAS CLAVE: Biosemiótica, conciencia, neurología cuántica, coherencia cuántica, máquinas celulares, microtúbulos, biofotones, Penrose, Popp, Hameroff.

Biosemiotic Aspects of Consciousness

In search of signs of life and their connection to consciousness as a telonomical principle

ABSTRACT: As much as philosophy, science has wanted to explain human consciousness as the product of biological processes. Intelligence, intuition, knowledge, emotions, the ability to reason, perception, among other integrated capacities in our psycho-biological experience, accompany us ontogenetically and phylogenetically. But there is no consensus regarding the origin of consciousness. Whether understood from a scientific or philosophical point of view, it no longer seems possible to attribute consciousness solely to human beings, as if ethology were able to access organisms at the cellular and molecular levels and thereby establish a comparative ethology. We will occupy ourselves with the living being in its entirety in order to determine very concrete aspects of «perceiving the surroundings», the *umwelt* of Jacob von Uexküll. This article treats neural-biosemiotic features which can direct us to signs or signals that suggest consciousness or to characteristics which pertain to the transmission of information and their subsequent response. We will speak of modern biosemiotics, with regard to the signals that stimulate information in cellular machines, in order to transcend the sense of the cellular machine, when signs of perception exist, as much as for its self-organization as for its environment (the emergence of consciousness). For this we will focus on the biophysics of microtubules (Hameroff-Penrose) and of the biophotons applied to the synaptic processes of the brain (Fritz Albert Popp).

KEY WORDS: Biosemiotics, consciousness, quantum neurology, quantum coherence, cellular machines, microtubules, biophotons, Penrose, Popp, Hameroff.

BIOSEMIÓTICA Y TELEONOMÍA DE LOS SERES VIVOS

La biosemiótica es el estudio de los procesos con signos semióticos de los sistemas vivientes. Incluye tanto una descripción teórica de los procesos semióticos en la naturaleza viviente, como también una visión general semiótica de la vida, o sea la historia natural de los signos (Hoffmeyer). Trata de verificar límites y adecuación del lenguaje humano, rico en términos semióticos, en el estudio de un sistema biológico real, autocontenido, no metafórico. Estudio, pues, del desarrollo temporal espontáneo de sistemas biológicos cada vez más complejos. Los mecanismos evolutivos (selección natural y autoorganización) y las relaciones basadas en signos se hallan en la genética, en el desarrollo orgánico dado, en el comportamiento y en la capacidad cognitiva.

Si vamos desde la sociología hacia la biología y la física, ¿en qué límite deja de ser razonable usar la terminología semiótica de la tríada «Objeto - Signo - Significante»? (Pierce, 1931). O también, ¿cuál es la complejidad umbral que necesita un sistema para permitir que la tríada de Pierce se constituya? La respuesta depende de hasta dónde se puede descender o minimizar un «sistema de interpretación» o un «interpretante». Las muy hipotéticas afirmaciones de que «es real y no metafórico que una molécula incluya un sistema de interpretación», o «que una molécula podría incluir un interpretante», permitiría quizá llegar al límite. Pero, por ahora, parece razonable indicar que la célula viva es el mínimo sistema donde el interpretante podría ser defendible y donde la tríada encontraría aplicación (la célula en los unicelulares y el organismo en los pluricelulares). Un ejemplo del primer caso es un huevo de avestruz (inicialmente una sola célula) donde el DNA es interpretado por toda la maquinaria enzimática preexistente en el huevo. El objeto es la información genética, el signo es el DNA y el interpretante es el resto del huevo. El DNA es inútil sin el interpretante. Un ejemplo del segundo caso, se daría con los depredadores olfateando su presa. El objeto es la presa, su signo es su olor y el interpretante es el organismo entero (coordinado por el cerebro) del depredador.

Según Michael Behe (1996) y William Dembski (2004), existe un Diseño Inteligente en la generación de las herramientas de la vida que han descrito como una «complejidad irreductible», dada en la síntesis de proteínas. Se ha calculado el tiempo necesario para la creación de una proteína de 100 aminoácidos por medio del ensayo/error evolutivo. Su resultado ha sido que el tiempo del universo actual no es aún suficiente para construirla; aunque se generan realmente en menos de cinco segundos. Esto nos lleva a pensar que existen determinados «arquetipos topológicos» —como los descritos por René Thom en su libro *Esbozo de una Semiofísica* (1990), que «hipostasían» la generación de una proteína, como sucede con una cresta de ola, las ramificaciones de un rayo, de un árbol o de un pulmón, etc.—. Pero, si hay un diseño inteligente, detrás tiene que haber un diseñador inteligente.

BREVE HISTORIA DE LA BIOSEMIÓTICA

Las primeras manifestaciones de la biosemiótica podríamos atribuir las a Heráclito de Efeso y el concepto de Logos. El neoplatonismo de Plotino y los estoicos ampliaron el concepto del Logos heracliteo donde Logos y Semeion toman consistencia significativa a través de la idea de «espermata» unida al logos solar. También a Anaxágoras y las homeomerías, o a Aristóteles y sus comienzos taxonómicos en los fundamentos observacionales de la biología. Ya en el siglo XVI a Paracelso a través de las interpretaciones de los síntomas de las enfermedades y su diagnóstico de las patologías holísticas en confluencia de hombre, naturaleza y cosmos. De Paracelso pasaríamos a la Naturphilosophie de los románticos alemanes (Goethe, Novalis, Ritter) y la significación trascendente del galvanismo.

Es Charles Sanders Peirce, y su magna obra lógico-semiótica, quien define la semiótica y la teoría del interpretante de que dependen actualmente todos los trabajos sobre biosemiótica. De Peirce pasamos a Charles Morris y su teoría general de los signos; a Roman Jakobson y estudio del lenguaje en relación con otros signos de comunicación; a Jacob von Uexküll con el concepto de *Umwelt* (1942), o medio circundante, que los seres vivos perciben desde sus perspectivas subjetivas; a Thomas A. Sebeok y la «zoosemiosis» (1972) que contribuyó a un avance en la integración de la biología con la semiótica. Según Sebeok, los signos usados por los animales (visuales, acústicos y químicos) son procesados por el sistema nervioso de forma semejante a los humanos. De esta manera, concibe de forma natural (y no sólo cultural) la expansión de las nociones semióticas, desde la semiótica humana hacia la zoosemiótica. Estudios avanzados han indicado que en la interpretación de signos no se requiere necesariamente un sistema nervioso. Krampem (1992) ha sugerido que también las plantas son capaces de interpretar señales aunque no tengan sistema nervioso. De acuerdo con estos estudios, la biosemiótica es una rama especializada de la semiótica que está enfocada en el estudio de la comunicación en los sistemas vivos.

Pattee (1982) ha sugerido que la comunicación es la característica esencial de la vida. Por eso la biosemiótica actual mantiene lazos muy estrechos entre la teoría matemática de la información y de la codificación de Shannon, la teoría de redes neuronales de Von Neumann, máquinas de Turing y células autómatas.

Según Alexei A. Sharov, la información es considerada como un microestado de un sistema que influye en la elección de sistemas de trayectorias en puntos de bifurcación. El sentido (*sense*) de la información tiene dos componentes: un significado o propósito (*meaning*) y un valor o importancia (*value*). El sentido es una colección de prohibiciones y limitaciones relativas a la información sobre trayectorias de un sistema en desarrollo y de sus conductas. El valor es medido por la contribución de la información a la seguridad del automantenimiento y la autoreproducción del sistema. Significado y valor son considerados como el nivel material e ideal. El sentido de la evolución se caracteriza por su

extensión abierta en el espacio-tiempo y por la complicación de su estructura. Su evolución como sistema va gradualmente desde el sistema pre-biológico hasta el hombre.

Pero son Claus Emmerche y Jesper Hoffmeyer quienes nos introducen actualmente, junto con el padre de la biosemiótica Jacob von Uexküll, en el sentido de la *semiosphere* y las ocho tesis que completan el orientación histórica vigente de la biosemiótica.

Las ocho tesis (en versión simplificada) son las siguientes: 1) Los signos son las unidades básicas del estudio de la vida. 2) La entidad más simple con competencia semiótica es la célula. 3) La «subjetualidad» es un fenómeno gradual. 4) Los sistemas vivos se caracterizan por producir signos en procesos de interacción por los que los hábitos significativos conducen a la emergencia recurrente de nuevos hábitos, etc. 5) Los cuerpos vertebrados funcionan con una «dinámica de enjambre» semejante a la de los insectos sociales. 6) El enjambre de células que constituyen el cuerpo humano ha de verse como un enjambre de enjambres. 7) El cerebro está integrado funcionalmente en el cuerpo: enjambre de células inmunitarias interactúan con enjambres de células nerviosas en el mantenimiento de la ecología somática. 8) Pensamientos y sentimientos no son entidades localizables: emergen (*they swarm out*) del nuestro colectivo corporal.

Nuestra pregunta por la conciencia y los rasgos biosemióticos que la hacen consistente ontológicamente plantea el problema de hasta qué punto sea algo físico o sea tan solo una emergencia de bio-signos fabricados por un orden neuronal.

ROGER PENROSE, STUART HAMEROFF Y LA CONCIENCIA CUÁNTICA

¿Es el fenómeno de la conciencia humana algo más allá del dominio de la investigación científica? ¿Podrá el método científico resolver algún día el problema de la naturaleza de nuestro yo consciente? (Penrose, 1994, p. 21).

Con estas preguntas Roger Penrose invoca en su libro *Las Sombras en la Mente* una de las cuestiones más controvertidas para la ciencia actual. Su compromiso con la pregunta por la conciencia lo lleva a plantearse no sólo la posible naturaleza no computacional de la mente, sino a abordar también la incompletitud de la propia física como problema a resolver. La posición de Penrose se planteó ya en *La Nueva Mente del Emperador*, al hilvanar por primera vez sus tesis sobre la no computabilidad de la mente.

Echando mano al principio antrópico de John Barrow y Frank Tipler (1986), Penrose entiende que la naturaleza del universo en que existimos y nos encontramos está fuertemente condicionada por la exigencia de que debe de haber seres sintientes como nosotros para observarlo (Penrose, 1989, p. 503). Es decir, que la naturaleza evolutiva del universo haya llegado a realizar un bucle en su proceso auto-organizativo para generar seres vivos con capacidad de percatarse de su existencia, de poder observar el mundo y tener la capacidad de asom-

brarse de lo observado es una de las razones que Penrose defiende como argumento antrópico débil. Para él sería aceptable para la explicación científica de la existencia de la conciencia, sin que por ello nuestra condición humana sea vista como algo especial en el proceso de selección natural. No obstante, está convencido de que existen otros argumentos más aceptables que el principio antrópico para dar razón de la naturaleza evolutiva de la conciencia.

No le es fácil, en efecto, resolver el problema de la existencia de la conciencia como él querría. Es más, el problema de la conciencia en *La Nueva Mente del Emperador* (NME) queda doblemente cuestionado desde la ambigüedad de la propia definición de qué es la conciencia.

Nos dice: «Supondré que la palabra “conciencia” es simplemente sinónimo de “conocimiento” (aunque quizá “conocimiento” es algo más pasivo que lo que entiendo por “conciencia”)» (Penrose, 1989, p. 504). Para él la conciencia es algo activo, más que pasivo: «Estoy dispuesto a creer que la conciencia es una cuestión de grado y no simplemente algo que está o no está... Puedo ser consciente del recuerdo de alguna experiencia pasada, o de llegar a una comprensión de lo que algún otro está diciendo, o de una nueva idea propia; o puedo estar intentando conscientemente hablar o ejecutar alguna otra acción como la de levantarme de mi propio asiento. También puedo “remontarme al pasado” y ser consciente de tales intenciones o de mi sentimiento de dolor, o de mi experiencia de un recuerdo o de llegar a una comprensión; o puedo ser simplemente consciente de mi propia conciencia. Puedo estar dormido y ser consciente en cierto grado, siempre que esté teniendo algún sueño; o quizá, a medida que me voy despertando, estoy influyendo conscientemente en el rumbo de ese sueño» (ibíd., p. 504).

Ante descripción tan imprecisa de la conciencia en el propio Penrose, quedamos también nosotros insatisfechos sin hallar una definición clara. Al margen de algunas cualidades de lo que parece ser la conciencia en NME, es discutible si se atiende a los argumentos de Dennett, la inexistencia de la experiencia subjetiva, o el fenómeno de los *qualia*, identificados como conciencia de la sensación consciente e individual de alguna impresión¹. Lo que sí afirma Penrose con contundencia es que la conciencia no es producto de cómputos algorítmicos extraídos de alguna máquina compleja de Turing, y que debe de haber un ingrediente no-algorítmico, y por lo tanto no-computable, en la actuación de la conciencia. Pero, ¿por qué? Según Penrose, la razón para creer que la conciencia es capaz de producir juicios de verdad de manera no-algorítmica deriva de su consideración del teorema de Gödel. Dicho teorema implica la indemostrabilidad formal de una cierta proposición, ya que su coherencia formal no es señal de que de hecho sea verdadera. Además, según el teorema de Gödel, es posible producir enunciados que no podemos demostrar a partir de un sistema de reglas fijado de antemano. Si estos postulados son creados por matemáticos son entonces formulados por mentes que conscientemente computan hasta lle-

¹ Los *qualia* son —numéricamente lo mismo que— modificaciones de estado de las estructuras del sistema nervioso pertinentes (vg., el sistema límbico). CASACUBERTA, D., *Qué es una emoción*, Barcelona: Crítica, 2000.

gar a una reducción al absurdo sobre la verdad lógico-matemática. Estos sistemas de postulados son contruidos a partir de ingredientes simples y obvios; cuando los comprendemos, su verdad es evidente y es reconocida por todos (ibíd., p. 518).

La comprensión matemática es algo que no puede formularse en términos de reglas, o de algoritmos; y para Penrose nuestra conciencia es un ingrediente crucial en nuestra comprensión de la verdad matemática. «Debemos “ver” la verdad de un argumento matemático para estar convencidos de su validez. Esta “visión” es la esencia misma de la conciencia. Debe estar presente dondequiera que percibamos directamente la verdad matemática. Cuando nosotros mismos nos convencemos de la validez del teorema de Gödel no sólo “vemos”, sino que al hacerlo revelamos la naturaleza misma no-algorítmica del propio proceso de la visión» (ibíd., p. 518).

En *Las Sombras en la Mente* Penrose intenta explicar los términos «inteligencia», «comprensión», «conocimiento», y «conciencia» de una forma más clara que en NME, aunque no quiere ofrecernos una definición cerrada de ninguno de ellos. Por lo pronto, y por el propio uso de los términos, afirma que «inteligencia» requiere «comprensión», de la misma manera que «comprensión» requiere «conocimiento». Entendiendo por «conocimiento», dice Penrose, un aspecto pasivo de la conciencia. Si es así podemos afirmar que el «conocimiento» es residual, un depósito cristalizado. La percepción es algo que requiere una conciencia pasiva, como las sensaciones (los qualia), al contrario que el «libre albedrío» requiere una conciencia activa. Según Penrose «existe realmente un concepto unificado de “conciencia” que es fundamental para todos los aspectos separados de la mentalidad (mente)» (Penrose, 1994, p. 55). No obstante, hay que recalcar que desde un principio Penrose defenderá la tesis de que la acción física apropiada del cerebro es la que provoca «conocimiento»; pero que, sin embargo, esta acción física nunca puede ser simulada adecuadamente de forma computacional. Para ahondar un poco mejor en la posible selección natural de la conciencia, Penrose expone que nuestros antepasados tal vez no pudieron llegar a tener la capacidad selectiva para hacer matemáticas avanzadas, en el sentido de llegar a la complejidad que existe actualmente en las teorías. Pero el hombre siempre desarrolló una capacidad para comprender y en su evolución ha incrementado poco a poco la capacidad de comprensión significativa inicial.

Pero tras defender los argumentos no-computacionales de la conciencia, Penrose debía proponer el modelo físico que permitiera la existencia de la conciencia. Pero la pregunta es clara, ¿existe alguna posibilidad de una física cuya descripción matemática incluya procesos no-computables? Actualmente la física, tanto en relatividad como en mecánica clásica o mecánica cuántica, no permite que haya parámetros no-algorítmicos. Si existieran acciones psicofísicas que no pudiesen simularse enteramente de forma computacional, entonces deberíamos encontrarles un soporte apropiado para que una física no-computacional pudiera entrar en el funcionamiento de nuestros cerebros. Ahora bien, este soporte no debería ser algo específico de nuestros cerebros; debería estar ahí

fuera, comenta Penrose, dado ya en el mundo físico. «Tendría que residir en el puente entre el mundo cuántico y el mundo de la física clásica (esto es en el terreno de la medida cuántica)» (Penrose, 1995, p. 226).

MICROTÚBULOS Y CITOESQUELETO: APROXIMACIÓN NEUROBIOLÓGICA
DE STUART HAMEROFF

Desde que Jacob von Uexküll definió, en su libro *Teoría de la Significación* (1942), el mundo circundante de un ser vivo (*umwelt*) como aquel mundo que entra en relación con el sujeto, pero que sólo integra lo que su percepción capta, el mundo subjetivo de los seres vivos toma peso específico en el desarrollo y en la evolución de las especies. Y es que como un paramecio percibe su alimento (a través de los gradientes de temperatura percatados por los flagelos), así también el ser humano percibe sus signos característicos captados en el entorno para su supervivencia, a través de sus herramientas biológicas (los ojos y los músculos).

Pero lo más curioso del asunto es que aquello que religa tanto al paramecio como al ser humano no deriva tan sólo de los componentes de sus instrumentos de captación, sino también del punto límite de intencionalidad motriz que comparten todos los animales, e incluso el reino vegetal. Los microtúbulos son los orgánulos encargados de transmitir los gradientes, tanto para los flagelos del paramecio, como para las neuronas del cerebro, como para la contracción de las células musculares. Incluso dichos microtúbulos son parte fundamental en la mitosis, en la reproducción. Pero ¿qué son los microtúbulos?

Se trata de estructuras tubulares huecas citoplasmáticas, presentes en todas las células eucariotas, con una medida aproximada de 24 nm (nanómetros) de diámetro exterior y 14 nm de diámetro interior. Se originan en los centros organizadores de microtúbulos (principalmente centrosomas), adoptando una organización radial en las células interfásicas. Forman también parte del huso mitótico de todas las células eucarióticas; se localizan en forma de haces en el axón neuronal, y también están presentes en el aparato locomotor de cilios y flagelos. En las neuronas, los microtúbulos y los filamentos intermedios se extienden a lo largo de axones y dendritas desde el cuerpo de la célula hasta su terminal. Los microtúbulos son estructuras altamente dinámicas, estabilizadas por un grupo de proteínas denominadas proteínas asociadas a microtúbulos (MAP's). Usualmente se agrupan formando haces en los que diferentes túbulos se unen mediante puentes para conferirles rigidez y solidez. A veces están organizados en fibras mayores tubulares, que constan de nueve dobletes, tripletes o tripletes parciales de microtúbulos, dispuestos en una estructura con una sección transversal semejante a un abanico.

Cada microtúbulo es en sí mismo una proteína polimérica constituida por subunidades protéicas llamadas tubulinas. Cada subunidad de tubulina es un dímero; es decir, consta de dos partes esencialmente separadas llamadas α -tubu-

lina y β -tubulina, constituidas cada una de ellas por unos 450 aminoácidos con un peso molecular de 55 Kdalton. Son dos proteínas globulares, en forma de cacahuete, organizado en una red hexagonal ligeramente sesgada a lo largo de todo el tubo.

La pared del microtúbulo está formada por una matriz helicoidal de las dos subunidades. Hay 13 protofilamentos cada uno de ellos compuestos por dímeros que se extienden paralelamente al eje longitudinal del microtúbulo. Las unidades repetitivas son, pues, heterodímeros y están dispuestos dentro del microtúbulo alineados de cabeza a cola. Esto quiere decir que los microtúbulos tienen una polaridad definida y que los dos extremos no son estructuralmente equivalentes.

Durante la polimerización, ambas unidades de tubulina se encuentran unidas a una molécula de guanosín trifosfato (GTP). El GTP desempeña una función estructural en la α -tubulina, pero es hidrolizado a guanosín difosfato (GDP) en la β -tubulina. Esta hidrólisis modula la adición de nuevos dímeros. Así, el GTP se hidroliza tras un lapso del tiempo, lo que permite que, si la adición de dímeros es rápida, se forme en el extremo (+) un casquete de α -tubulina unida a GTP, mientras que, de ser lenta, lo que se forma es tubulina unida a GDP. Pues bien: esta unión a uno u otro nucleótido es la que determina la velocidad de polimerización o despolimerización del microtúbulo. Así, un casquete en el extremo (+) con GTP favorece la elongación, mientras que uno de GDP, la despolimerización.

Ahora bien, este proceso es función de la concentración de dímeros de $\alpha\beta$ -tubulina: si su concentración es mayor que una concentración crítica (C_c), el microtúbulo crece. Si es menor, decrece. Y según la presencia de un casquete de GTP o GDP, la C_c es distinta, por lo que el extremo (+) y (-) tienen valores distintos, lo cual provoca que la actividad dinámica del extremo (+) sea mayor. El microtúbulo, por tanto, puede crecer por ambos extremos o sólo por uno. La interacción del extremo (-) con el centro organizador de los microtúbulos (MTOC) disminuye mucho su actividad.

Estas características derivan a la existencia de una inestabilidad dinámica de los microtúbulos, que consiste en que, en una misma célula, algunos microtúbulos están despolimerizándose (catástrofe) y otros elongándose (rescate). Estos hechos se ven modulados por proteínas MAPs, que intervienen en las catástrofes y rescates.

Existen proteínas que aprovechan la hidrólisis de ATP para generar energía mecánica y desplazar sustancias sobre los microtúbulos. Estas son la dineína, transportador anterógrado, y la kinesina, transportador retrógrado.

Las dimensiones del dímero de tubulina son aproximadamente 8 nm de longitud por 4 nm de grosor y 4 nm también de ancho. Su número atómico es alrededor de 11×10^4 ; aproximadamente el mismo número de nucleones, por lo que su masa es de cerca de 10^{-14} gr. Se ha demostrado que la tubulina, al menos, puede existir en dos configuraciones geométricas o conformaciones distintas. Una de ellas logra doblarse cerca de 30° respecto al eje direccional del micro-

túbulo. Con ello se han constatado dos estados diferentes de polarización eléctrica de la tubulina. Ello es debido a la localización de un único electrón emplazado en lo que podría denominarse un «bolsillo hidrofóbico» central entre ambas subunidades. Stuart Hameroff y Watt (1982; también Hameroff, 1987) han sugerido que estas dos conformaciones tienen un comportamiento «activo» e «inactivo» correspondientes a los bits «1» y «0»; esto ofrecería una propagación de señales complejas a lo largo de los microtúbulos, análogo a un autómata celular.

Se posibilita así una capacidad de computación con una potencia virtual² enormemente mayor que la considerada en las redes neuronales, en que se considera la neurona como unidad computacional. Los cambios de conformación de las tubulinas se propagan cerca de un millón de veces más rápido que las señales neuronales. Para valorar el alcance de este hecho es conveniente saber que existen por neurona unos diez millones de unidades de tubulina, y se calcula que existen cien mil millones de neuronas en el cerebro, por lo que el campo interactivo de tubulinas debe de generar múltiples espacios topológicos, auto-semejanzas fractales y holográficas. El resultado es un supercomputador cuántico (Deutsch, 1997) cuyas unidades ya no son bits, sino qubits o bits cuánticos con muchos estados posibles. Cada qubit es un dímero de tubulina. Ahora bien, si en cada neurona hay 10^7 tubulinas y en un SNC (sistema nervioso central) hay cerca de 10^{10} neuronas, hablamos de 10^{17} tubulinas, superestructurándose en múltiples niveles de resonancia para acciones tan sencillas como, por ejemplo, mover un dedo, o articular la palabra «dedo», o comprender lo articulado lingüísticamente como dedo (acciones que podrían llamarse neuro-semánticas).

Las tubulinas se ponen en interconexión entre ellas transmitiéndose información electrónica, fonónica y fotónica, entre tubulinas dispuestas curiosamente de tres a cinco, ocho y trece unidades. Aunque este detalle parezca que no diga nada, la disposición de transmisión de resonancias eléctricas, por ejemplo, responde ni más ni menos a la serie de Fibonacci. Es decir, la disposición en series de Fibonacci de la transmisión de información resonante, para comenzar, es trascendental porque de las series de Fibonacci se obtiene la proporción áurea de los pitagóricos. La razón áurea o el número áureo que crea las espirales de las galaxias, las espirales logarítmicas de los nautilus y de los caracoles; es el primer fractal descrito por Nicómaco de Gerasa en el siglo I (D'Arcy Thomson, 1961). Es sobre todo una disposición de transducción de máxima eficacia que permite un fenómeno insólito: un fenómeno cuántico macroscópico de transmisión de información o, como lo describe Penrose, una *reducción objetiva orquestada* de la función de onda, gracias a un fenómeno de *coherencia cuántica* que actúa como superconductor. Dicho fenómeno se da en el tejido nervioso, pues los microtúbulos se extienden por el interior de los axones y las den-

² Dicha potencia virtual vendría dada por lo que se denomina una máquina virtual de computación. Lo teorizó Alan Turing, y se conoce como la máquina universal de Turing, por el teorema del mismo autor, y es la potencialidad de transformarse en cualquier máquina virtual que se nos pudiera ocurrir (o sea procesar funciones computables arbitrarias) (*Glosario de Carlos von Berke*).

tritas de las neuronas prolongándose hasta la cercanía de las sinapsis, donde se da la conexión interneuronal. El estado de cada tubulina está influido por los estados de polarización de cada uno de sus seis vecinos, debido a interacciones de Van der Waals entre ellos, resultando determinadas reglas específicas que gobiernan la conformación de cada dímero en función de sus vecinos. Esto permitiría que cada mensaje fuese propagado y procesado a lo largo de cada microtúbulo. Estas señales que se propagan son relevantes para el modo en que los microtúbulos transportan determinadas moléculas a través de ellos, y las múltiples interconexiones entre microtúbulos vecinos. Dichas proteínas conectivas de tipo puente son las conocidas como proteínas asociadas a los microtúbulos o MAP's. D. Koruga (Koruga, 1974) defiende una efectividad especial en el caso de una estructura relacionada con los números de Fibonacci del tipo que realmente se observa para los microtúbulos.

REDUCCIÓN OBJETIVA ORQUESTADA

El límite entre el mundo microscópico-cuántico y el mundo macroscópico-clásico permanece enigmático. Las conductas ondulatorias, objetos de niveles cuánticos, pueden ser descritas satisfactoriamente como teoría determinista, unitaria, que describe el proceso (por ejemplo, un vector de estado que evoluciona según la ecuación de Schrödinger) descrito por U (reglas estándar de la mecánica cuántica). A gran escala (nivel clásico) los sistemas parecen responder (diferencialmente) a los cálculos de las leyes deterministas. Cuando, en la transición, se magnifican los efectos del sistema desde el nivel cuántico al macroscópico-clásico, la escala clásica (el proceso de la medida) escoge un *eigenestado* particular (un estado de entre muchos posibles estados superpuestos). Según la interpretación convencional de Copenhague de la teoría cuántica, la «opción» de un *eigenestado* es puramente aleatoria. El proceso de R no-computable es conocido en varios contextos como el colapso de la función de onda, salto cuántico, evento de Heisenberg y/o reducción del vector de estado.

Von Neumann, Schrödinger y otros en los años treinta supusieron que ese colapso cuántico, o R , ocurría efectivamente cuando un sistema cuántico actuaba de forma recíproca con su ambiente, siendo de alguna forma «modulado» o conscientemente observado. El porqué y el cómo ocurre con exactitud el colapso, al igual que el porqué y el cómo los *eigenestados* son determinados, son por el momento asuntos desconocidos e indican una laguna en el conocimiento de la física. R no se considera un fenómeno real objetivo, independiente, en la interpretación estándar de Copenhague. Varios físicos han defendido modelos específicos (o esquemas generales) en que las reglas estándar de la mecánica cuántica U serían modificadas por la inclusión de algún procedimiento adicional por el que R conduciría objetivamente a un proceso real. El procedimiento pertinente de tal o cual esquema específico se denota aquí por RO (la reducción objetiva). En *Las Sombras de la Mente*, Penrose (1994) entiende que la RO se pro-

duce cuando la coherencia cuántica crece hasta alcanzar un umbral crítico que está relacionado con la gravedad cuántica, y es entonces cuando devienen de forma abrupta los auto-colapsos. Otros esquemas para RO han sido mantenidos por Pearle (1989) y por Ghirardi y sus colaboradores (1986). Deben mencionarse también los basados en efectos gravitatorios, como el Károliházy y colaboradores (1986), Diósi (1989), Ghirardi y colaboradores (1990), y también Penrose (1989). El reciente trabajo (Pearle y Squires, 1994) presta considerable apoyo, general y observacional, a un esquema de RO gravitatorio. Hay también argumentos importantes en otras direcciones (Penrose, 1987, 1989) apoyando la creencia que la unión apropiada de relatividad general con la mecánica cuántica llevará a un cambio significativo en esta última teoría (así como también en la relatividad). Hay también alguna evidencia directa, aunque provisional, a favor de que esta unión (relatividad-cuántica) conduciría a una teoría no-computable (por ejemplo, Geroch y Hartle, 1986; Deutsch, 1997; Penrose, 1994).

La RO en los microtúbulos referida a la conciencia fue considerada por vez primera en términos generales en *Las Sombras de la Mente*. Aquí adoptaremos una propuesta bastante específica para la RO (de acuerdo con Penrose, 1994; Diósi, 1989; Ghirardi, 1990) aplicada cuantitativamente en los microtúbulos en que la emergencia de la coherencia cuántica, la evolución unitaria U y la reducción objetiva RO, se guían y «se sintonizan» (orquestradas por conexiones con las *Proteínas Asociadas a los Microtúbulos*, o MAP's). Desde esta perspectiva elaboramos un modelo de *Reducción Objetiva Orquestada* (RO Orq) en los microtúbulos que podría dar soporte físico a la conciencia.

Un rasgo importante de RO (y RO Orq) es que los aspectos no computables surgen sólo cuando el sistema cuántico se hace tan grande que su estado sufre el auto-colapso, en lugar de su estado de colapso, porque su crecimiento fuerza el enredo con su ambiente. Debido a la naturaleza aleatoria del ambiente, la acción de RO resultado del crecimiento-inducido del enredo sería indistinguible de la RS (reducción subjetiva) azarosa, o de los procesos R de la teoría cuántica estándar.

La cuestión de la conciencia queda establecida por su posibilidad de darse en presencia de algún proceso físico no computacional que tiene lugar en el cerebro y por la posibilidad de que las conexiones sinápticas entre grupos de neuronas provoquen la «emergencia» de la conciencia. De ser así se estaría postulando un nuevo fenómeno cuántico que, desde el nivel «mesoscópico», provocase una consistencia emergente del fenómeno de la conciencia.

Pero, ¿por qué los microtúbulos? ¿Existe alguna evidencia directa de que el fenómeno de la conciencia esté relacionado con la acción del citoesqueleto y, en particular, de los microtúbulos? La respuesta ha sido estudiada por Hameroff (Hameroff, 1998) en relación a los anestésicos y su efecto inhibitorio de la conciencia por la acción de sustancias químicamente diferentes en la dinámica motriz del citoesqueleto, y en concreto de estos motores polivalentes. Recordemos que los dímeros de tubulina son susceptibles de dos conformaciones diferentes debido a su electrón libre en el «bolsillo hidrofóbico» que se posiciona

en uno u otro dímero «conmutando». Y dicha conmutación del electrón afecta a su momento dipolar eléctrico, gracias a la influencia de la fuerza de Van der Waals ejercida por sustancias vecinas. Hameroff afirma que los anestésicos, aunque sean dispares en su configuración molecular, todos interfieren con las acciones conmutadoras normales de las tubulinas. Impiden la óptima transducción de señales fonónicas que permiten la conducción de neuropéptidos hacia axones o dendritas, e interfieren en la dinámica motora del ensamblaje de los microtúbulos por acoplamiento de la hidrólisis de GTP. Estos procesos que consumen energía quedan bloqueados o inhibidos, dando como resultado la pérdida de conciencia.

La conciencia requiere, pues, la no computabilidad (Penrose, 1989, 1994). En la teoría cuántica estándar no hay ninguna actividad no computable; pero los procesos R son totalmente al azar. La única fuente clara prontamente disponible de no computabilidad es la RO (y la RO Orq); o sea, el auto-colapso. Un rasgo esencial de conciencia podría ser entonces un estado cuántico coherente a gran escala mantenido durante un tiempo considerable. Entonces la RO orq tendría lugar debido a un desplazamiento de masa suficiente en este estado que conduciría a un auto-colapso que de algún modo influiría o controlaría las funciones del cerebro. Los microtúbulos parecen los lugares más prometedores para responder más fácilmente a estos requisitos.

LA COHERENCIA CUÁNTICA

Penrose tiene claro que con la potencialidad virtual de las tubulinas, al producir fenómenos de resonancia del electrón confinado en el bolsillo hidrofóbico, no es suficiente para que los microtúbulos ofrezcan las condiciones para que su tesis de la conciencia como fenómeno no computable pudiera darse en el citoesqueleto. Debería de haber campo para la acción no computacional; una acción que sólo podría surgir si un estado cuántico coherente a escala macroscópica pudiera mantenerse en un entorno aislado durante un tiempo suficiente para que dicho estado cuántico (o al menos partes de él) pudiera *autocolapsarse*, en lugar de colapsarse por efecto de la confusión o enmarañamiento cuántico con el entorno.

Pero, ¿a qué llamamos coherencia cuántica? El concepto de «coherente» significa oscilaciones de igual longitud de onda, siendo ondas ordenadas y coordinadas cuyas cúspides superiores e inferiores se interrelacionan de tal forma que pueden superponerse unas con otras. Así, las ondas de un campo coherente se comportan de la misma manera, por lo que pueden transmitir información y unir en un todo las células, tejidos y órganos (Baines, 1998). Este fenómeno se refiere a circunstancias en que grandes números de partículas pueden cooperar colectivamente en un simple estado cuántico que permanece no enmarañado con su entorno. Semejantes estados se dan de forma espectacular en los fenómenos de superconductividad (donde la resistencia eléctrica cae a cero) y de superfluidez

(donde la fricción del fluido, o viscosidad, cae a cero). La particularidad de estos fenómenos es la existencia de un intervalo de energía que tiene que ser superado por el entorno para llegar a perturbar este estado cuántico.

En un sistema cuántico coherente aislado de su ambiente, las componentes espaciales distribuidas pueden existir en la «superposición coherente» de muchos estados posibles. Esta característica puede explicar la unidad de funciones biológicas en una célula viva, y de la conciencia inmersa en las dimensiones macroscópicas del cerebro. Más adelante veremos que estos estados de coherencia no sólo se dan en el citoesqueleto de las neuronas. Es un fenómeno arraigado en todas las células de un orgánulo, de órganos y de seres vivos, generando de esta manera una escala de «integrones» (según la definición de François Jacob; Jacob, 1970)³ que permite comprender escalas armónicas u orquestadas de comunicación intracelular, intercelular y extracelular. Generando así nuevos modelos de campos morfológicos en equilibrios homeostáticos que permiten una dinámica fluida de generación y degeneración de procesos de coherencia y decoherencia cuántica a niveles macroscópicos. Algo parecido a estructuras de coherencia disipativas, atendiendo a la definición de Ilya Prigogine, sobre el comportamiento de dichas estructuras en entornos de no-equilibrio o de constante flujo y reflujo de entropía en el entorno. Entropía que podría calificarse a nivel cuántico de «enmarañamiento» y que provocaría la decoherencia por desfase de las componentes de los vectores de estado, debido al efecto interactivo con el entorno.

Por esta razón se había pensado que era únicamente posible conseguir estados de superfluidez y de superconductividad a temperaturas muy bajas (a unos pocos grados por encima del cero absoluto) y no parecía posible que un cuerpo tan caliente como el cerebro, u otro sistema orgánico a temperatura ambiente, pudiese producir coherencia cuántica. Actualmente se han observado estados de superconductividad a temperaturas no tan críticas (a unos 115 K), aunque aún impensables para observaciones biológicas. Incluso 250 K son temperaturas no aceptables para condiciones biológicas conocidas.

Unos trabajos realizados en 1938 con membranas biológicas hizo que Herbert Fröhlich en 1968 propusiese un posible efecto cuántico en sistemas biológicos. Basándose en observaciones de Oliver Penrose y Lars Onsager en 1956, Fröhlich determinó que los sistemas de dipolos de una proteína en un campo electromagnético común (como por ejemplo proteínas dentro de una membrana polarizada, o subunidades dentro de un polímero electroconductor, como un microtúbulo) experimentan excitaciones coherentes en su sistema, si se proveen de energía. Los procesos cooperativos, organizados, que condujeron a exci-

³ «... La arquitectura escalonada es el principio que rige cualquier sistema viviente, sea cual fuere su grado de organización (...) Los organismos se constituyen por una serie de integraciones (...) mediante una serie de empaquetamientos, según una jerarquía de conjuntos discontinuos. Cada una de estas unidades, producto de la integración de subunidades, puede designarse con el término general de integrón. Un integrón se forma por la unión de integrones de nivel inferior, y a su vez participa en la construcción de un integrón de nivel superior». JACOB, FRANÇOIS, *La lógica de lo viviente*, Ed. Tusquets, Col. Metatemáticas, 1999, pp. 281-282.

taciones coherentes emergían, según Fröhlich, debido a la coherencia estructural de los dipolos hidrofóbicos en un gradiente común de voltaje. Fröhlich expresó claramente la emergencia de estos procesos cooperativos:

«Se espera que los sistemas biológicos tengan una gama de modos eléctricos longitudinales en una región de frecuencia entre 10^9 y 10^{11} Hz (...) *La energía provista no se termaliza sino que se almacena totalmente en una forma altamente ordenada. Este orden se expresa en correlaciones de largo alcance de la fase; el fenómeno tiene semejanza considerable con la condensación de la baja temperatura de un gas de Bose...*»⁴ (nota: la traducción es mía).

Las frecuencias coherentes en excitación, es decir, los efectos vibracionales dentro de las células activas, que resonarían con la radiación electromagnética de microondas, están en el orden de 10^9 a 10^{11} Hz (de idéntico dominio de tiempo para el cambio de la conformación funcional de la proteína). Fröhlich las dedujo y las llamó transiciones acústico-conformacionales, o fonones coherentes (bombeados).

Un «fonón» puede definirse como una vibración propagada en la celosía o enrejado molecular, una vibración intranuclear de un enlace de carbono-nitrógeno que se propaga en una celosía de la proteína. La transmisión de fonones ocurre a la velocidad del sonido, por lo que no transfieren fenómenos de resonancia, pero sí propagan vibraciones en una celosía periódica. En 1967 Straub postuló que esas celosías o enrejados de las proteínas contienen fonones que deben aislarse de su ambiente acuoso. En un encuentro en la *New York Academy* en 1973 Straub sugirió que las interacciones hidrófobas como las fuerzas de Van der Waals podrían contener fonones en la celosía y podrían protegerlos del baño acuoso. El concepto de «conformon»⁵, un cuanto de energía para la conformación de una proteína, acoplado a los estados discretos de la misma, se describió independientemente por Green (1970) y Ji (1974) en América, y Volkenstein (1972) en la Unión Soviética. Después, A. S. Davydov, de la Unión Soviética, pro-

⁴ FRÖHLICH, H., *Long-range coherence and energy storage in biological systems*: Int. J. Quantum Chem. 2 (1968) 641-9.

⁵ El concepto de conformon se introdujo independientemente en la biología molecular en los trabajos de D. E. Green y S. Ji (1972) y de M. V. Volkenstein (1972). La parte común de las dos definiciones es la deformación de la conformación de las macromoléculas presentes en una célula. En el trabajo de Green y Ji (1972) la atención se enfoca hacia la energía libre asociada con la tensión del factor conformativo localizado: un conformon se ve como una sucesión mecánica específica que proporciona la energía libre y la información de Shannon. Siguiendo la definición cedida por Green y Ji (1972) el conformon y pseudo-conformon han sido clasificados en diez familias basadas en sus funciones biológicas (según Ji, 2000). Es más, en los conformones están en la base del Bhopalator: un modelo teórico de la célula viviente, según los trabajos de Ji (1985, 2002), en que los procesos dados en una célula se describen usando conformones colocados en el espacio y tiempo con los vectores de fuerza apropiados. En este modelo los conformones interactúan intercambiando todo o parte de su energía libre.

El término conformon se adoptó en 1973 y 1974 cuando G. Kemeny y I. M. Goklany desarrollaron la primera representación mecánico cuántica del concepto de conformon. Se usan otras definiciones de conformones en otras disciplinas, como en física en la relación entre la gravitación y la entropía.

puso que esos movimientos mecánicos conformacionales en las proteínas estaban acoplados no linealmente a la distorsión del enlace electrónico o movimiento de carga, produciendo una propagación de ondas en coherencia llamadas «solitones». Todos estos modelos se enfrentaron al problema común de aislar o proteger dichas propagaciones de solitones / fonones del ambiente acuoso, es decir, del enmarañamiento en las moléculas de agua. Una posible resolución de este problema sería que el agua circundante a las proteínas podría ser «ordenada» y susceptible de acoplamiento por resonancia, en lugar de ser termalmente disipadora de la energía de excitación de proteína. Otra sería que esas interacciones hidrófobas excluyeran el agua de áreas dónde ocurren interacciones bioenergéticas importantes. Esto lo vemos más adelante.

Mientras la energía del impulso metabólico sea suficientemente grande, y las propiedades dieléctricas de los materiales interesados sean lo bastantes extremas, entonces existe la posibilidad de coherencia cuántica a gran escala, similar a la que tiene lugar en los fenómenos de superconductividad y de superfluididad. Tales estados coherentes se llaman condensados de Bose-Einstein en la física cuántica y han sido sugeridos por Marshall⁶ para producir los estados macroscópicos cuánticos que apoyan la unidad de la conciencia. Marshall defiende en su artículo que el cerebro contiene uno y sólo un sistema probable de este tipo (un sistema de fonón bombeado descrito por Fröhlich) que supuestamente constituiría el sustrato de conciencia humana. Este sistema lleva el nombre de *Condensado de Fröhlich*. No sería más que el condensado Bose-Einstein dado en experiencias dieléctricas en biología.

La evidencia experimental para Fröhlich —como las excitaciones coherentes en sistemas biológicos— incluye la observación de la gama de gigaHz de fonones en las proteínas, de los efectos no-termales agudo-resonantes de la irradiación de microondas en las células vivas, de la activación inducida en gigaHz de la pinocitosis de los microtúbulos en el cerebro de una rata, y de la detección por espectroscopia del láser Raman de la energía de la frecuencia de Fröhlich. Las excitaciones coherentes de Fröhlich en microtúbulos citoesqueléticos han sido propuestas como vehículo para el tratamiento de la información.

CONDENSADO BOSE-EINSTEIN

El rasgo más importante de teoría cuántica en procesos neurobiológicos es que esas grandes colecciones de ondas / partículas cuánticas pueden unirse en estados coherentes unitarios de tamaño e influencia macroscópica. Hablamos de la superconductividad, pero sobretodo del estado conocido como condensado Bose-Einstein. Los condensados Bose-Einstein son estados coherentes de materia en que átomos o moléculas del componente comparten una función de

⁶ MARSHALL, I. N., *Consciousness and Bose-Einstein condensates: New Ideas in Psychology* 7 (1989) 73-83.

onda cuántica común, perdiendo con ello su identidad y conducta individual. Tal coherencia cuántica unitaria entre las biomoléculas puede ligar las actividades celulares y nivelar el tejido en un estado viviente común.

La condensación de Bose-Einstein es un fenómeno en donde los bosones (un gas del bosón) se combinan en el nivel de energía más bajo, en un estado cuántico compartido. Se refiere más generalmente a la tendencia de los bosones a ocupar el mismo estado (relacionado de cerca con la emisión estimulante). Un bosón en un estado puede estimular o inducir otro bosón en el mismo estado, causando un acontecimiento cuántico; por ejemplo, una transición atómica.

Un estudio sobre el comportamiento cuántico de gases alcalinos a baja temperatura, llevado a cabo por Eric A. Cornell y Carl E. Wieman en un laboratorio de Boulder, Colorado, en 1995, hizo que se pudiesen enfriar 2.000 átomos de rubidio a una temperatura de 100 mil millonésimas de grados Kelvin, haciendo perder durante diez segundos a los átomos su identidad individual, comportándose como un «superátomo». Las propiedades físicas de todos ellos, sus movimientos, por ejemplo, se volvieron idénticos. Estos fenómenos de condensación Bose-Einstein son considerados actualmente el quinto estado de la materia, y por ello les fue concedido en 2001 el premio Nobel de Física.

Ahora bien, el fenómeno de condensado de Bose-Einstein que nos ocupa en relación con el estudio de la conciencia no trata de buscar coherencia cuántica en bajas temperaturas, sino que, al contrario, nos permite hallar dicho estado de la materia en la temperatura en que el cerebro funciona biológicamente.

Como señaló Fröhlich, los sistemas biológicos son relativamente estables desde un punto de vista microscópico; por ejemplo, las vibraciones termales de átomos sueltos son prácticamente igual que en un correspondiente sistema no biológico. En algunas condiciones, sin embargo, cuando ellos mismos están lejos del equilibrio térmico, por un juego restringido de fase, los puntos espaciales dominan la conducta global del resto. Esto se produce en las propiedades colectivas de organización, en que se requiere un gran número de moléculas y nos remite a una explicación teórica que va más allá del dominio del esquema puramente mecanicista-reduccionista. Estas propiedades colectivas evolucionan como consecuencia del suministro de energía (el metabolismo), y virtualmente representan desplazamientos no lineales extremos. Esta no-linealidad de las ecuaciones de evolución de las propiedades macroscópicas del sistema es de relevancia fundamental. La no-linealidad se conoce hoy día por ser fuente de nuevos e inesperados fenómenos que dan lugar a la llamada conducta compleja en los sistemas dinámicos⁷.

Se han de considerar, entonces, la evolución disipativa y el estado firme de la población de formas vibracionales polares en una cadena de biomoléculas. En nuestro modelo estos modos polares están excitados a través de su acoplamiento con una fuente de bombeo de energía metabólica que reside en la interacción inarmónica con un continuo elástico. Se acoplan, de esta manera, gru-

⁷ NICOLIS, G. - PRIGOGINE, I., *La estructura de lo complejo*, Alianza Editorial, Madrid, 1994.

pos de modos polares a través de las condiciones no lineales en las ecuaciones cinéticas que describen la evolución del estado macroscópico del sistema. Esta no-linealidad se considera fuente de un nuevo e inesperado fenómeno que caracteriza la conducta compleja en este tipo de sistemas: después de permanecer en el umbral de la intensidad de la fuente de bombeo se alcanzan formas polares con las frecuencias más bajas aumentando enormemente sus poblaciones. La posibilidad de este fenómeno la avanzó Fröhlich, y, por consiguiente, se ha denominado *efecto Fröhlich*, y se parece a una clase de condensación Bose-Einstein en no-equilibrio.

El fenómeno de condensación puede llevar a un efecto de coherencia entre las unidades vibrantes y a la formación de alguna clase de orden espacial. Las tendencias actuales indican que ese efecto Fröhlich puede tener consecuencias biológicas importantes como resultado de la acción de gran alcance de las fuerzas eléctricas; así en el perfeccionamiento de la proporción de la reacción de moléculas enzimáticas, o en la formación del «roleaux» en los eritrocitos, por ejemplo⁸. También, la conexión entre los efectos Fröhlich y Davydov se ha mostrado recientemente. La teoría de Davydov contiene la propuesta de un nuevo mecanismo para la localización y transporte de energía vibracional que consiste en la formación de ondas solitarias en biopolímeros. Hay una indicación de que las excitaciones del soliton-tipo de Davydov, propagadas a través del sistema, se hacen casi disipativas una vez logrado el umbral de condensación de Fröhlich. Esto hace pensar en un fenómeno pertinente de propagación de excitaciones a distancias largas en dichos biosistemas; una cuestión de interés en bioenergética.

EL AGUA ORDENADA

El trabajo se ha centrado en el agua de las superficies de las bioestructuras en coherencia cuántica. En el contexto de la teoría cuántica de campos, desde una de las líneas históricas de las teóricas clásicas, se han examinado interacciones entre el campo del dipolo eléctrico del agua y el campo electromagnético cuantificado de la bioestructura (o citoesquelético).

En el citoplasma existen fases de «solenoide» (solución, o líquido) y de «gel» (fases gelatinosas de varias clases). La transición entre solenoide y las fases del gel depende de la polimerización de la actina. Accionada por cambios en la concentración del ion del calcio, la actina se co-polimeriza en diversos tipos de proteínas, los «*cross-linking* (lazos cruzados) de la actina», para formar microfilamentos y varios tipos de geles. Las características de los geles de la actina son determinadas por el tipo particular de *cross-linkers* de la actina. Los geles se des-

⁸ MESQUITA, M. V. - VASCONCELLOS, A. R. - LUZZI, R., «Positive-Feedback-Enhanced Fröhlich's Bose-Einstein-Like Condensation in Biosystems», en *Int. Journal of Quantum Chemistry*, vol. 66, 1998, pp. 177-187.

polimerizan de nuevo a fase líquida por los iones de calcio que activan la proteína del gelsolin que separa la actina. La actina repolimeriza en el gel cuando se reduce la concentración del ion de calcio. El gel de la actina (agua ordenada) pone en fase el ciclo con fases del citoplasma líquido y del agua desordenada. El intercambio de iones de calcio entre la actina y los microtúbulos (y el puente microtúbulo-límite con la calmodulina)⁹ puede mediar tales ciclos. Los exteriores del microtúbulo ni retienen ni ordenan, al parecer, el agua.

El agua citoplásmica tiene características únicas por ser un componente importante de un organismo vivo: el agua está de alguna manera viva. Pero, ¿cómo las capas de agua ordenada, asociadas a las superficies citoesqueléticas, pueden permitir la coherencia en el citoplasma, el fenómeno cuántico relacionado con la vida y con la conciencia?

En la teoría cuántica de campos, los campos fundamentales dan forma al universo. Los componentes de la materia (electrones, protones, neutrones) se ven como cuantos de energía del campo de la materia, que obra recíprocamente con el campo electromagnético cuántico intercambiando, creando y aniquilando los fotones. Nuestro mundo se hace así de materia y de luz. Lo significativo para la biología y para la neurología es que los estados permitidos de energía (*eigenestados*) de un campo cuántico están correlacionados mutuamente con otros *eigenestados* de la energía. Un campo cuántico es así coherente, unitario, y evita desorden termal. Tales características caracterizan la vida y la conciencia.

Jibu y Yasue¹⁰ han especificado «la dinámica del cerebro cuántico» (QBD) en la que el campo electromagnético cuantificado obra recíprocamente con el campo rotatorio de los dipolos de la molécula de agua dentro de las dendritas y del glia de los nervios. Los *eigenestados* más bajos de energía («estados tierra», o del «vacío») del campo del dipolo del agua son estados de la memoria en QBD. El intercambio dinámico, creación y aniquilación de las cuasi-partículas («corticones»), entre los dos campos es «conciencia», según la opinión de Jibu y Yasue, y se proponen interconectar las dinámicas citoesqueléticas con los niveles de la red dendrítica y de los nervios en la función del cerebro.

Consideramos ahora tres propuestas en las que el agua ordenada pueda desempeñar un papel en la coherencia cuántica biológica esencial para los sistemas vivientes y la sensibilidad de los seres vivos: 1) coherencia óptica cuántica en el corazón interno del microtúbulo («super-radiación» y «transparencia

⁹ La calmodulina es una proteína ligante de calcio que media los efectos de los iones calcio en numerosos sistemas biológicos. Se encuentra en todas las células eucariotas y lleva a cabo su acción a través de una serie de proteínas quinasas dependientes de ella. La relación entre la calmodulina (según con qué molécula interaccione puede producir efectos tan diversos como movimiento, crecimiento celular o división celular) y el tráfico intracelular puede aportar información relevante para descubrir nuevas terapias que combatan enfermedades tan dispares como la fibrosis quística, el Alzheimer, la leucemia mieloide, la diabetes o la hipercolesterolemia familiar. El transporte celular es el encargado, entre otras funciones, de llevar una molécula desde donde es sintetizada hasta donde debe producir su efecto.

¹⁰ JIBU M. - YASUE K., *Quantum Brain Dynamics: An Introduction*, John Benjamins: Amsterdam, 1995.

auto-inducida»); 2) visión celular; 3) aislamiento de los microtúbulos frente a la decoherencia ambiental.

SUPER-RADIACIÓN EN LOS CORAZONES INTERNOS DEL MICROTÚBULO

Como hemos visto, los microtúbulos son cilindros huecos. Jibu y sus colegas consideraban el agua ordenada situada en la base interna hueca de los microtúbulos en coherencia cuántica de «Fröhlich». Específicamente, el sistema dinámico cuántico de las moléculas de agua y el campo electromagnético cuantificado, confinado dentro de la base hueca del microtúbulo, manifiestan una dinámica colectiva en interacción específica llamada «super-radiación»; su efecto podría ser transformar el microtúbulo incoherente [es decir, en estado termal (en que la energía se disipa por calor) y energía molecular, electromagnética o atómica, desordenada] en fotones coherentes dentro de los microtúbulos. En analogía con la superconductividad, Jibu y Yasue sugieren que fotones en coherencia cuántica creados por super-radiación penetrarían perfectamente a lo largo de la base hueca interna del microtúbulo como si el medio óptico fuera transparente para la propagación de los fotones mismos. Este es el fenómeno teórico cuántico llamado «transparencia auto-inducida».

VISIÓN CELULAR

Cuando están expuestas a la luz, células simples como las amebas experimentan una difusión de la actina-basada de la transformación en solenoide-gel. Para investigar la visión primigenia en el nivel de células individuales, Albrecht-Buehler demostró que los fibroblastos 3T3 se aproximaban a puntos visibles o ligeramente infrarrojos. Las células produjeron pseudópodos ameboideos (por medio del montaje del actinia-gel) que permitían extenderse hacia la luz.

AISLAMIENTO EN «RO Orq»

En un modelo específico de conciencia basado en la superposición en coherencia cuántica del microtúbulo y en el auto-colapso («reducción objetiva orquestada»), Hameroff y Penrose han demostrado los requisitos para el aislamiento de la coherencia cuántica del microtúbulo frente a la decoherencia ambiental. Para que un estado cuántico persista, debe estar aislado de su ambiente para evitar la disipación y la decoherencia. No obstante para que la información cuántica lograda en el auto-colapso del proceso sea útil debe también comunicarse con el ambiente. Una solución posible sería que los ciclos de aislamiento y de comunicación se alternaran. Los ciclos de la gelación de la actina (y del agua ordenada) ocurren conjuntamente con el lanzamiento de la vesícula del neuro-

transmisor en el terminal del axón. Los ciclos de la gelación de la actina en las dendritas de los nervios, por ejemplo, junto con las actividades de la membrana neuronal podrían servir de forma cíclica para aislar la coherencia cuántica en microtúbulos frente a la decoherencia ambiental. Sin embargo, esto parece algo paradójico: si la gelación de la actina y el agua ordenada asociada facilitan la coherencia cuántica, en el caso de visión celular descrito arriba, ¿podrían también proteger la coherencia cuántica en los microtúbulos? Hay varias respuestas posibles: 1) que un tipo específico de gel del *cross-linker* de la actina pueda blindar un estado de coherencia cuántica, mientras que otro pueda permitirla, y 2) que la gelación de la actina y el agua ordenada puedan permitir que el citoplasma entero se convierta en estado coherente cuántico (y ligado a la coherencia cuántica en otras células por los vacíos de unión).

Las neuronas tienen el tamaño de una micra (o 1.000 nanómetros). Esta dimensión neuronal está en el rango de la escala a que el efecto de Casimir es mensurable y también está sobre el rango de la Inducción Gravito-Electromagnética de la Región Virtual de las Ondas de Gravedad.

La gravedad submilimétrica está siendo estudiada por los experimentos puestos en marcha desde 1998 en Stanford y la Universidad de Colorado en Boulder. Se conectan las neuronas por tres tipos de Uniones o Cruces Comunicativos. Los electrones pueden cruzar los huecos o vacíos de uniones por *tunnelling* cuántico; de ese modo se posibilita la superposición de estados cuánticos al extenderse de neurona a neurona por dichos vacíos de cruces. Se conocen, pues, actualmente tres tipos de uniones comunicativas:

- Las Sinapsis Químicas. Mostradas en detalle, tienen la forma de pelota de fútbol (igual que los fullerenos). Las clatrininas (hechas de trímeros de proteínas, llamados trisqueleos) gobiernan la descarga de neurotransmisores químicos en la sinapsis. Según Evan Harris Walker, «... usando los valores para la barrera de la Unión Sináptica en una energía de 0,07 eV [o 70 mili-electrón-voltios] (correspondiendo a la preferencia potencial por una neurona, o a la hendidura sináptica). Tomando los datos neurofisiológicos de la sinapsis, se puede calcular el tamaño de la hendidura sináptica necesaria para que los electrones puedan discurrir por la hendidura con una probabilidad que corresponde a la probabilidad del sistema nervioso central (SCN) para disparar la sinapsis (... 0,3 a 3 milisegundos involucrados en el disparo sináptico...) cuando llega un potencial de acción. El resultado de 180 Ångstrom [o 18 nanómetros] corresponde exactamente a lo que se encuentra para la sinapsis del SCN. Esto no significa que los iones de calcio no jueguen ningún papel en la transmisión sináptica, pero ese papel es probablemente secundario, y la hipótesis del calcio, tomada exclusivamente, ha resultado ser menos satisfactoria para explicar todos los datos experimentales...»¹¹.

¹¹ WALKER, EVAN HARRIS, *The Physics of Consciousness: The Quantum Mind and the Meaning of Life*, Cambridge, MA: Perseus, 2000.

- Sinapsis Eléctrica, o Efapsis: Según Evan Harris Walker, «... hay una clase de sinapsis, llamada efapsis o sinapsis eléctrica que dispara eléctricamente, en lugar de descargar químicamente. Estos efapsis son morfológicamente idénticos a la sinapsis en todo los respetos excepto uno: que sus hendiduras son aproximadamente de 150 Ångstrom [o 15 nanómetros] de extensión. Los cálculos demuestran que reduciendo el espesor de la hendidura de 180 Ångstrom a 150 Ångstrom cambia la conducta eléctrica de la sinapsis, y eso es así tan sólo por los datos experimentales hallados que han sido reunidos para estudiar estos tipos de estructuras neurofisiológicas...».
- Vacíos de unión: son las conexiones directas entre las células, pero no sólo incluyen neuronas y sus dendritas, sino también las Células de Glía. La arquitectura se estructura entonces por medio de los vacíos de unión (Alberts, Bray, Lewis, Raff, Roberts y Watson, *Biología Molecular de la Célula*, 2.^a ed., Garland, 1989).

Según Stuart Hameroff, «una neurona cortical dada puede tener 10.000 sinapsis químicas, y relativamente pocos vacíos de unión (15% del número de sinapsis químicas, o 1.500 huecos de unión para una neurona con 10.000 sinapsis químicas). Hay orgánulos especiales (los cuerpos laminares dendríticos, DLBs) que sólo se encuentran delante de cualquier vacío de unión lateral en las dendritas del cerebro. Los DLBs se juntan por proteínas filamentosas a los microtúbulos, y su estructura sugiere que puedan ser apropiados, si no ideales, para el *tunnelling* cuántico de los electrones. Lo que [Hameroff y Penrose] sugirieron es que ese *tunnelling* de los electrones ocurre [por los vacíos de unión] entre los microtúbulos de cada una de dos neuronas adyacentes. La distancia por la propia unión del hueco es de sólo 3,5 nanómetros, aunque está un poco más distante que en los microtúbulos» (Hameroff, Nip, Porter, Tuszynski, 2002).

EN RESUMEN

1. Los estados de conformación individual de tubulinas en los microtúbulos del cerebro son sensibles a los eventos cuánticos interiores (por ejemplo, las fuerzas de London en bolsillos hidrófobos) y son capaces de una cooperación interactiva con otras tubulinas en la computación «autómata» clásica que regula y actúa recíprocamente con la sinapsis química, el montículo de axón, y otras actividades de las membranas neurales.

2. La superposición cuántica de las fuerzas de London se antepone a la superposición cuántica coherente de la estructura de la tubulina apoyándose en la computación cuántica en los microtúbulos. En esta fase, la computación cuántica entre tubulinas evoluciona linealmente según la ecuación de Schrödinger (microtúbulo autómata cuántico).

3. Los estados cuánticos en los microtúbulos evitan la decoherencia aleatoria medioambiental por mecanismos que incluyen la gelación de la actina, el bombeado coherente, el agua ordenada (o bioplasma), una fase de carga condensada circundante al microtúbulo, y la corrección topológica del error cuántico. El área de la superficie reforzada en la gelación de la actina («gel») lleva a ordenar el agua, y aísla los microtúbulos durante la fase cuántica; la despolimerización de la actina se transforma en estado líquido (solución: «sol») para la comunicación clásica.

4. Las «superposiciones» / «fases de computación cuántica» dadas en los microtúbulos neurales corresponden a procesos pre-conscientes (implícitos) que continúan hasta el umbral en que la «reducción objetiva» de Penrose se alcanza. La reducción objetiva (RO), como evento discreto, ocurre entonces, y los estados post-RO de las tubulinas proceden por el mecanismo clásico autómatas del microtúbulo para regular las sinapsis y otras actividades de las membranas neurales. Se producen transiciones desde las posibilidades pre-conscientes en opciones unitarias, cuando los cómputos cuánticos hacen que las superposiciones cuánticas de estados múltiples colapsen abruptamente (se reduzcan) a estados definidos que producen el «momento consciente».

5. Los eventos RO Orq son propuestos como soporte de la conciencia (para producir la experiencia de los *qualia*), ya que los *qualia* proto-conscientes son fundamentales, incluida la escala de Planck. En cada RO Orq el evento selecciona una configuración particular de geometría fundamental y produce derivadamente un juego específico en la experiencia de los *qualia*.

6. El vínculo de los estados cuánticos entre neuronas y glía se produce a través del *tunnelling* en los vacíos de unión (o fotones en coherencia cuántica que cruzan las membranas). Los vacíos de unión interneuronal que se coordinan con oscilaciones en coherencia cuántica a un ritmo de 40-Hz. producen estados cuánticos en un nivel macroscópico a través de redes de células interconectadas en dichos vacíos (hiper-neuronas)¹², y esto sucede en grandes masas del cerebro.

7. Las probabilidades y posibilidades para superposiciones cuánticas pre-conscientes están influidas por la regeneración biológica; incluyendo las ataduras de las proteínas asociadas a microtúbulos (los MAP's), cuya melodía y oscilaciones cuánticas «orquestradas» proporcionan el input/output durante la fase clásica («sol»). Aplicaremos entonces el término auto-sintonización RO a los procesos de reducción objetiva «orquestrada» o RO Orq en los microtúbulos.

8. Los eventos RO Orq pueden tener intensidad inconstante en la duración del proceso pre-consciente. En el cálculo de $E = h/T$ (E [energía], h [constante de Plank] y T [tiempo]) durante un tiempo de proceso pre-consciente de, por ejemplo, $T = 25$ msec (40 Hz), E es aproximadamente la «superposición» / «separación» de 2×10^{10} tubulinas. Para $T = 100$ msec (el alfa EEG) E involucraría 5×10^9

¹² JOHN, E. R. - TANG, Y. - BRILL, A. B. - YOUNG, R. - ONO, K., *Double-labeled metabolic maps of memory*: Science 233 (1986) 1167-1175.

tubulinas. Para $T = 500$ msec, como tiempo típico del proceso pre-consciente para estímulos de intensidad bajo, E es equivalente a 10^9 tubulinas. Así, 2×10^{10} tubulinas se mantuvieron en la superposición coherente cuántica aislada para un tiempo de 25 msec (o 5×10^9 tubulinas para 100 msec, o 10^9 tubulinas para 500 msec, etc.). Esto mostraría el auto-colapso (RO Orq) y la producción de un evento consciente. Superposiciones más rápidas y más amplias pueden también ocurrir, pero sin consecuencias electrofisiológicas. Por ejemplo, en sucesiones de miles de $T = 10^{-6}$ msec (microsegundos), los eventos de RO, cada 10^{15} tubulinas del envoltorio, podrían llevar en 25 msec a eventos de RO terminales que influirían en la neurofisiología.

9. Se estima que cada neurona del cerebro pueda contener aproximadamente 10^7 tubulinas. Si, digamos, un 10 por ciento de las tubulinas de una neurona entraran en coherencia, entonces para la RO Orq de las tubulinas, en aproximadamente 25 msec, se requerirían 20.000 neuronas (conectadas por los huecos de unión) para un evento consciente, 5.000 neuronas para un evento en 100 msec, o 1.000 neuronas para un evento en 500 msec, etc. En un microsegundo los eventos involucrarían unos mil millones neuronas, 1% de capacidad del cerebro, aproximadamente.

10. Cada evento RO Orq instantáneo coordina información superpuesta, codificada en los microtúbulos, cuyo desplazamiento neto alcanza el umbral en un momento particular: una variedad de modos diferentes de información (modalidades sensitivas, por ejemplo) están de ese modo coordinándose en un evento «ahora». Cuando las reducciones del estado cuántico son irreversibles en el tiempo, las cascadas de eventos de RO Orq presentan un flujo adelantado de tiempo y constituyen un «chorro de conciencia».

FRITZ ALBERT POPP: BIOFOTONES Y COMUNICACIÓN CELULAR

«una luz espléndida ha amanecido en mí sobre la absorción y la emisión de la radiación...»

ALBERT EINSTEIN¹³

Los biofotones son fotones emitidos espontáneamente por todos los sistemas vivos. En particular este fenómeno no se confina en la «radiación térmica» en el rango infrarrojo. Es bien conocido en la actualidad que los biofotones se emiten en el rango del espectro electromagnético desde la luz visible a la UV. Realmente, puede registrarse la intensidad de «biofotones» desde unos pocos fotones por segundo y centímetro cuadrado del área de superficie hasta unos cientos de fotones en cada sistema vivo bajo investigación. De hecho con sólo unos pocos fotones se producen efectos cuánticos (no hablo de efectos clásicos). Tienen que ver con una radiación coherente que hace que las interferencias en el espacio

¹³ EINSTEIN, ALBERT, carta a Michele Angelo Besso, noviembre de 1916.

existente entre las células sean mayores. Pero sería una radiación en la que se utilizan las interferencias como una forma de comunicación. Los fotones que emiten las diferentes células, interfieren y hacen que las interferencias sean mayores en las ondas que emiten las mismas células. Las amplitudes de los campos eléctricos provocan, principalmente, interferencias destructivas, así que la radiación entre los sistemas, en este caso las células, desaparece; mientras que, por otro lado, la intensidad dentro de los sistemas debe ser mayor porque se tiene que conservar la energía. Esta es la forma de comunicación entre las células. Todas las células se comunican con patrones ondulatorios específicos. Se observan estructuras de interferencia específicas, y si las células son idénticas, se dice que tienen el mismo patrón de frecuencia. Esto es como decir, más o menos, que tienen el mismo patrón de interferencia. Y esta también es una forma de identificación entre ellas: cancelar la luz entre ellas es la mejor manera que tienen para comunicarse porque crean algo así como un canal, crean una zona de quietud, o dicho de otro modo, crean una zona libre de sonido entre ellas, de modo que cuando cualquier pequeña perturbación surge la perciben inmediatamente como una señal entre ellas. Lo que digo no es especulación, sino resultado de experimentación llevada a cabo con profundidad.

Helmut A. Fisher contribuyó a establecer la hipótesis de Popp con un detallado trabajo sobre las estructuras intracelulares y la morfología celular, involucradas en la comunicación fotónica. Los tipos básicos de todos los sistemas celulares conocidos como receptores de luz son los cilios y evaginadores de la membrana celular. Si los filamentos son de considerable longitud se les denomina flagelos, y si son microvellosidades se denominan cilios o *epitelium* ciliado. Estas contienen fibrillas morfológicamente semejantes a los microtúbulos. Sabemos que, cuando los microtúbulos se unen para formar centriolos, éstos se componen de nueve fibrillas dispuestas cada una de ellas de tres en tres, abiertos por un extremo y cerrados por el otro.

Los cilindros están llenos de plasma de baja densidad. Sería posible así que la multiplicidad de formas de los filamentos estuviera relacionada con la comunicación fotónica junto al centriolo, con su forma tubular y la obturación en un extremo, igual que un telescopio de reflexión. Las otras estructuras tubulares y filiformes pueden ser traducidas como elementos conductores huecos, semejante a la fibra óptica de vidrio. Sería de esperar que los intersticios entre las fibrillas poseyeran la propiedad de conducir impulsos ópticos.

El hecho de que las distancias entre las células adyacentes sean normalmente las mismas indica la presencia de fuerzas de cohesión donde haya contacto entre células. Por eso en los desmosomas o *mácula adherens* (áreas de contacto simétricas intercelulares) también se ha descubierto su actuación como acopladores ópticos donde las señales fotónicas pueden transmitirse de forma bidireccional.

Pero, si recordamos que, entre las neuronas, la comunicación es sináptica, nuestra pregunta está en saber si existe alguna relación entre biofotones y la comunicación sináptica.

Hameroff sugirió en condiciones muy generales dos conceptos importantes en la comprensión de la actividad citoesquelética cerebral desde el punto de vista de la física cuántica: microtúbulos que actúan como guías de ondas para fotones y como procesadores de información holográficos. La holografía es un fenómeno óptico relacionado con la interferencia de ondas electromagnéticas coherentes o fotones. Los microtúbulos podrían verse como conductores de ondas para los fotones, y la teoría de Fröhlich haría pensar en las excitaciones coherentes en los microtúbulos. Además, la estructura de la celosía periódica de microtúbulos podría proporcionar las aberturas «periódicamente formadas» (los espacios entre dímeros) para que los fotones pudieran pasar. Comienza a haber pruebas de la generación de fotones coherentes y de emisiones necesarias para la holografía óptica; se han hallado además en microtúbulos y en cualquier estructura biológica microscópica. Sin embargo, los llamados fotones auto-enfocados y auto-atrapados, o las entidades ondulatorias no térmicas, están siendo difíciles de descubrir. En cualquier caso, ninguna investigación teórica completa de estos conceptos tiene exclusivamente el punto de vista de la física (sin la interdisciplinariedad biológica), excepto el llamado «láser de agua» (Del Guice *et al.*, 1988).

El agua es ubicua a lo largo del Universo y se ha descubierto ahora por todas partes: desde el interior de algunos planetas, a la superficie del Sol y a las profundidades del espacio interestelar. Un atributo de agua reconocido por los filósofos antiguos, así como por científicos modernos como Linus Pauling, es la memoria retenida en las mismas geometrías y ataduras químicas, responsables de muchas de sus propiedades inusuales. La mayoría de las propiedades enigmáticas del agua sirven para proteger su estructura tetraédrica frente a las fluctuaciones de temperatura e incluso los cambios de la fase. Aunque los ángulos de enlace y los armónicos asociados difieren entre las fases sólidas y líquidas de agua, la geometría tetraédrica permite a cada molécula de agua la «atadura de hidrógeno» con cada uno de sus cuatro vecinos. Estos enlaces de hidrógeno no están «fijos» en el tiempo y en el espacio, sino que pueden re-barajarse a razón de aproximadamente de un billón veces por segundo. La manera en que esta re-baraja ocurre se describe por una función de probabilidad y puede representarse por una red binaria aleatoria, similar a la de una computadora.

Desde la perspectiva de la cibernética, la red de enlace de hidrógeno en el agua puede ser considerada un sistema de auto-organización que se comporta caóticamente. Asumiendo que el agua retiene memoria, su estructura y los enlaces asociados al hidrógeno deben cambiar en respuesta a los estímulos externos. Mientras la mayor parte de la estructura del agua sólida y líquida sigue siendo tetraédrica, las moléculas de agua en contacto con otras superficies (por ejemplo, el aire), o con solutos (por ejemplo, las sales, las moléculas orgánicas), se organizan en una variedad de geometrías que producen cambios en la red. De esta manera, el agua es capaz de discernir el *self* del *no-self* e interactúa con su entorno (*umwelt*). Los recientes resultados sugieren que la ruptura y la formación de enlaces de hidrógeno entre macromoléculas y moléculas de agua circundantes influyen sustancialmente en la estructura tridimensional de las proteínas y los ácidos nucleicos. Cuando el concepto de «memoria de agua» se

combina con su papel íntegro en todas las estructuras y procesos biológicos, el título de «disolvente» universal probablemente nos hace entender la relación de agua con la vida¹⁴.

LA EMISIÓN DE FOTONES CELULARES Y LA ACTIVIDAD CITOESQUELÉTICA

Hay una necesidad técnica de conectar la amplitud de fenómenos colectivos biológicos con la organización dinámica interior de los organismos vivientes. En estudios sobre fenómenos colectivos en poblaciones celulares realizados por Roeland Van Wijk, en la Universidad de Utrecht, se enfocó la atención en las características del fotón espontáneo y de la emisión de luz-inducida (luminiscencia retrasada) de organismos y células. Se han discutido dos tipos de estudios que sugieren la conducta colectiva inter- e intra-celular en las poblaciones celulares. El primero ha sido con la conducta inter-celular anormal de la concentración y la dependencia de luminiscencia retardada en las poblaciones de las células mamarias normales y tumorales. El segundo con la luminiscencia retardada de simples células de *Acetabularia Acetabulum*. En estos estudios se han usado anestésicos como cloroformo, isoflurano y sevoflurano para suprimir la motilidad intra-celular. El almacenamiento a largo plazo del fotón retardado podría relacionarse con la motilidad intra-celular.

La emisión espontánea de fotones se ha estudiado a menudo; es la más probable porque su intensidad es sumamente baja. Recientemente, en los estudios sobre emisión espontánea, el análisis de Fourier del espectro se ha introducido para analizar los datos de la emisión de fotones. La conclusión más importante en el estudio de células mamarias fibroblásticas ha sido que no se detecta ningún fotón perceptible por encima de la emisión de fotones en el mismo cultivo. Sin embargo, se pueden modular los espectros de frecuencia de la emisión de fotones en el medio de cultivo. Así, el uso de muestras de inhibidores citoesqueléticos específicos ha mostrado que la modulación es dependiente de la integridad del citoesqueleto. El análisis de Fourier del espectro del fotón espontáneo en la emisión de células de *A. Acetabulum* ha presentado esta evidencia para las células-específicas con oscilaciones de alta frecuencia (con periodos entre el segundo y el minuto). Las oscilaciones principales se atribuyen a la actividad endógena del citoesqueleto. Las últimas características se estudiaron en las respuestas en campos magnéticos débiles.

Se concluye que la técnica de contar fotones, cuando es muy sensible, es apropiada para tratar la dinámica de organización interior, en particular el funcionamiento de procesos regulados por el citoesqueleto¹⁵.

¹⁴ MARRIN, D. L., *Water's memory: A molecular perspective. Conference Towards a Science of Consciousness*, Tucson Arizona, MIT Press, 1998.

¹⁵ VAN WIJK, ROELAND, *Cellular photon emission and cytoskeletal activity*, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, 1998.

LA EMISIÓN DE FOTONES EN CÉLULAS NERVIOSAS

Se ha mostrado que la emisión de fotones en el cerebro y en células nerviosas de embriones de polluelo se relaciona con las fases de desarrollo y las condiciones medioambientales. El profesor Jiin-Ju Chang y sus colegas del Instituto de Biofísica de Beijing (colaborador de Popp) prepararon células nerviosas de un cerebro intacto en suspensión sin ningún tratamiento químico para obtener intensidades más altas. Después de una iluminación ligera blanca, se observó una emisión retardada corta en cerebros intactos y en células del cerebro, de tal manera que la conducta de relajación seguía una función hiperbólica en lugar de una ley exponencial. La emisión del fotón descubierto debe explicarse como señal de la existencia de un campo coherente no-localizado dentro del sistema de la medición; también permitiría entender las interacciones entre campos intrínsecos dentro de los sistemas vivos y sus campos externos medioambientales^{16,17}.

No entraremos ahora en detalles más profundos de los modelos. Pero debemos indicar que una explicación final podría darse únicamente desde el punto de vista de la óptica cuántica. Uno de los puntos más cruciales es la coherencia de los biofotones. Esto permite la más alta «visibilidad» posible, así como también propiedades óptimas para la comunicación e información. Mostramos ya la evidencia, en efecto, de una coherencia cuántica casi perfecta de los biofotones al demostrar tres de sus propiedades: dos serían necesarias, una suficiente, y todas juntas constituirían las condiciones suficientes para la coherencia cuántica del campo del biofotón. Lo primero sería la desviación significativa del equilibrio térmico; y lo segundo sería la distribución de Poisson del registro estadístico de la emisión de fotones. Si se cuenta el número de biofotones emitidos durante un intervalo predefinido de tiempo Dt , se alcanzan ciertas cantidades por tiempo de conteo. Ordenando estos valores medidos desde el punto de vista de la frecuencia registrada $0, 1, 2, \dots, n$ fotones, se consigue la probabilidad de distribución $p(n, \Delta t)$ para mediciones $n = 0, 1, 2, \dots$, de fotones en intervalos fijos y predefinidos medidos por un tiempo Δt (durante el tiempo de medida de 0 hasta t , donde $\Delta t \ll t$).

Para un espacio totalmente coherente, $p(n, \Delta t)$ sigue una distribución de Poisson. Todos los investigadores de biofotones aceptan hoy que la emisión del biofotón está realmente sujeta a la estadística de fotoconteo de Poisson (Chang *et al.*, 1998). Sin embargo, esta es una condición suficiente de coherencia única para $\Delta t \leq \tau$ (donde τ es el tiempo de coherencia de los biofotones). Debemos indicar, sin embargo, que t no es conocida en la actualidad. Esta demostración se

¹⁶ YU, W. D. - CHANG, J. J., *Studies on the Development of Embryonic Chicken Brain Cells by means of Photon Emission*: Chinese Science Bulletin 40 (1995) 1317-1321.

¹⁷ ZHANG, J. Z. - YU, W. D. - SUN, T. - POPP, F. A., *Spontaneous and light-induced photon emission from intact brains of chick embryos*: Science in China (Series C) 40(1) (1997) 44-51.

ha realizado mostrando evidencia de que la función de relajación del «retraso en luminiscencia» de los biofotones sigue una hipérbola ($1/\tau$) más que una ley exponencial $\exp(-\beta t)$, donde t es el tiempo después de la exposición del sistema vivo a una iluminación liviana externa y β representa la constante de deterioro.

Se debe notar que estas propiedades de los biofotones caracterizan la materia animada como sistemas donde se producen ámbitos de coherencia cuántica en que las diferentes partes quedan conectadas entre sí formando así unidades sistémicas. De esta manera, estos efectos cuánticos constituirían el soporte biofísico para entender los seres vivos como sistemas holísticos integradores (Popp, 1979).

CONCLUSIONES

Debemos decir que el papel asumido por los microtúbulos como componentes celulares fundamentales no puede abordarse en este artículo. Si son componentes de los cilios, son axonemas o cuerpos basales, según sean partes externas de la célula o se trate de las raíces ciliares, participando en la coordinación del movimiento de las células. Si son microtúbulos del citoesqueleto de las neuronas, como hemos visto, su papel es tan trascendente ante el efecto de resonancia cuántica inter-neuronal e intra-neuronal, como también es inmanente, si consideramos que los verdaderos efectos de coherencia cuántica se dan en el interior de cada uno de ellos. Si son los microtúbulos citoplasmáticos pueden formar asociaciones estables en el centrosoma, como centriolos, y además son fundamentales en el fenómeno de la mitosis de las células.

Esto muestra la amplia significación biosemántica del papel fundamental de los microtúbulos en la constitución de la vida. Son piezas fundamentales porque intervienen en la captación de los nutrientes, son partícipes en el fenómeno de permanencia vital y de generación multicelular, además de generar fenómenos de coherencia en la transmisión de señales; y podrían ser además soporte biofísico, justificado científicamente, que permitiera la conciencia como fenómeno complejo de interacción neural en los seres con sistema cerebro-espinal desarrollado.

Por otro lado hemos visto cómo los llamados biofotones participan en los fenómenos de coherencia cuántica. Los fotones emitidos por las diferentes células, interfieren y hacen que las interferencias sean mayores entre las ondas que emiten las mismas células. Las amplitudes de los campos eléctricos provocan, principalmente, interferencias destructivas; tanto es así que la radiación entre los sistemas, en este caso las células, desaparece, mientras que, por otro lado, la intensidad dentro de los sistemas es mayor porque se tiene que conservar la energía. Esta es la forma de comunicación entre las células. Todas las células se comunican con patrones ondulatorios específicos. Se observan estructuras de interferencia específicas, y, si las células son idénticas, se dice que tienen el mismo patrón de frecuencia. Esto es como decir, más o menos, que tienen el mismo

patrón de interferencia. Y esta también es una forma de identificación entre ellas: cancelar la luz entre ellas es la mejor manera que tienen para comunicarse porque crean algo así como un canal, crean una zona de quietud, o dicho de otro modo, crean una zona libre de sonido entre ellas, de modo que cualquier pequeña perturbación es percibida inmediatamente como una señal intercelular.

Para conseguir una reacción química se necesita un fotón. Uno de los componentes de esta reacción química tiene que ser estimulado o excitado por ondas electromagnéticas. Deben excitarse los estados electrónicos del sistema. Esta excitación sólo puede darse mediante la absorción de un fotón. Este es el motivo por el que la velocidad de las reacciones químicas aumenta en función de la temperatura: si aumentamos la temperatura se consigue un aumento del número de reacciones químicas por segundo porque se producen más fotones disponibles.

Pero la principal diferencia es que en un sistema biológico no se produce radiación calorífica en esta pequeña reacción, sino biofotones. Se produce un pequeño número de fotones, y no es necesario tener muchos de ellos para conseguir un gran número de reacciones químicas. ¿Por qué ocurre esto? Porque en cuanto se da una reacción química el fotón es devuelto hacia el campo y en ese campo biofotónico los fotones no son termalizados, es decir, no desaparecen como radiación calorífica, como calor, sino que son almacenados para que de esta forma estén siempre disponibles para la próxima reacción. A este campo biofotónico, con su bajo número de fotones, no le resulta difícil asumir toda la actividad que se da en una célula aunque sea muy elevada. La información siempre queda almacenada en el campo y puede ser utilizada por otras células en otra ocasión. Puede decirse que en los sistemas biológicos existe una especie de matrimonio entre el campo fotónico y la materia bioquímica: uno es necesario para entender el comportamiento del otro, es imposible separar su estudio. Si se tiene en cuenta sólo una de las partes, se cometen muchos errores.

Por todo esto, viendo que el bombeo de fonones en el interior de los microtúbulos neurales (por ejemplo) fundamenta y estimula el desplazamiento del electrón desde el bolsillo hidrofóbico de cada tubulina y, a su vez la contracción angular de cada dímero, la pregunta reside en el principio generador del bombeo fonónico. Si comprobamos que este bombeo de fonones es una respuesta a las corrientes dieléctricas del microtúbulo, podemos entablar una relación entre los fonones coherentes de bombeo transmitidos por el cristal líquido de agua ordenada generado en el interior del microtúbulo y la liberación de fotones coherentes de baja intensidad. De hecho, la resonancia entre microtúbulos no es posible por medio de los fonones, debido a que la velocidad media de transmisión no permite el efecto de resonancia. Pero gracias a la coherencia cuántica surgida por efecto *tunnelling* de los vacíos de unión entre neuronas, los fotones coherentes transmiten la resonancia efectiva de la intensidad de radiación electromagnética de los microtúbulos intracelulares.

Así la transducción de información electromagnética, fotónica y fonónica, entre neuronas y las células glía ha sido efectiva gracias a una orquestación de componentes:

- Dicha orquestación es posible gracias a la posibilidad de orden molecular (del agua intratubular) y de la coherencia cuántica (de la superposición de las funciones de onda de los fonones y de los fotones) provocados por una posible reducción objetiva de los estados cuánticos. Esto aún tiene que fundamentarse a través de los trabajos de Penrose sobre gravitación cuántica en los que se está trabajando actualmente.
- Son los microtúbulos los generadores del efecto de condensación de Bose-Einstein en temperaturas de estabilidad biológica.
- Sabiendo que dichos estados de condensación se dan a temperaturas de aproximadamente 0° K, se comprende que la generación de condensación Bose-Einstein en el cerebro está fuera del equilibrio térmico que lo permite.
- Dicho estado de condensación de Bose-Einstein hace que todos los átomos y moléculas afectadas por la coherencia cuántica intracelular actúen como un todo, a la manera de un macro-holograma de caracteres «mesoscópicos».

Es posible, pues, hablar del ser humano desde una perspectiva biosemiótica como una «semiosfera» holográfica de un todo biosférico (tal como Vernadsky pensó). Un todo coherente, tal como Jacques Monod definió en *El Azar y la Necesidad* las *performances* teleonómicas de las proteínas, cuyo comportamiento en coherencia cuántica llega a testificar la máxima eficacia de actividad unificadora de la materia biológica y de la energía electromagnética radiada por el cerebro para la posibilidad de un comportamiento superfluido y superconductor de las neuronas.

Por tanto, podemos concluir que:

- 1.º El cerebro y la mente responden al principio gödeliano de consistencia no computable.
- 2.º Esta condición permite la posibilidad de estados coherentes en niveles jerárquicos completos (que van desde el bombeo fonónico / fotónico hasta el sentido psicológico de unicidad de pensamiento, emoción y acción), tal como F. Jacob definió dicha peculiaridad compositiva de niveles jerárquicos al llamarla «integrón», y que permitiría actuar a los organismos como si fueran una orquesta sinfónica.
- 3.º Dicha orquestación jerárquica liga con la sexta tesis de Hoffmeyer y el enjambre de enjambres. Liga también con Penrose y Hameroff y su estudio de la conciencia a través de la reducción objetiva orquestada por las tubulinas. También con la séptima tesis de Hoffmeyer y una ecología somática (interactuando el enjambre de células inmunitarias con el enjambre de células nerviosas), gracias a la orquestación sináptica a la que contribuyen los microtúbulos para la emisión y para la recepción de neurotransmisores.

Pienso, pues, en definitiva, que la conciencia emerge tal como describe la octava tesis de Hoffmeyer; es decir, como la inmanencia del colectivo celular en

un factor de coherencia trascendental. Por tanto, podríamos hablar del ser humano como complejidad irreductible de autoconciencia. Como un enjambre de enjambres de condensados Bose-Einstein, de factores no termales tal como Fröhlich intuyó y cuya posibilidad demostró, y que experimenta un sentido de completitud afianzado en la emergencia de un factor evolutivo de percepción (la auto-percepción propia del ser humano). De este modo el hombre sería un ser consciente no sólo de su *umwelt*, sino que ha generado articulaciones neocorticales que han provocado la emergencia de la razón.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBRECHT-BUEHLER, G. (1991): *Surface extension of 3T3 cells towards distant infra-red light sources*: J. Cell Biol. 114:493-502.
- (1992): *Rudimentary form of cellular «vision»*: Cell Biol 89:8288-8292.
- BAINES, J.: «Medición de la energía electromagnética del cuerpo en distintos procesos fisiológicos», en *Moral para el siglo XXI*, Xistral Ediciones, Madrid, pp. 585-613.
- BARROW, J. D. - TIPLER, F. (1986): *The Antropic cosmological Principle*, Clarendon Press, Oxford.
- BEHE, MICHAEL J. (1996): *Darwin's Black Box*, The Free Press, A Division of Simon & Schuster, New York. [Traducido en castellano: *La Caja Negra de Darwin*, Editorial Andres Bello, Barcelona 1999.]
- CORNELL, ERIC A. - WIEMAN, CARL E. (2001): *Bose-Einstein Condensation In A Dilute Gas; The First 70 Years And Some Recent Experiments*, Nobel Lecture.
- (2001): «Condensación Bose-Einstein», en *Fenómenos Cuánticos*, Investigación y Ciencia, Temas n.º 31, pp. 82-87, Barcelona.
- DAVYDOV, A. S. (1977): *Solitons and Energy Transfer Along Protein Molecules*: J. Theor. Biol. 66, 379-387.
- DEL GIUDICE, E. - PREPARATA, G. - VITIELLO, G. (1988): *Water as a free electric dipole laser*: Phys Rev Lett 61: 1085-1088.
- DEMBSKI, WILLIAM (2004): *Irreducible Complexity Revisited*, ISCID Archive.
- DEUTSCH, DAVID (1997): *The Fabric of Reality*, Penguin Books, London. [Traducido al castellano: *La Estructura de la Realidad*, Ed. Anagrama, col. Argumentos, Barcelona, 1999.]
- DIÇSI, L. (1989): *Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations*: Phys. Rev. A. 40:1165-1174.
- EMMECHE, CLAUS - HOFFMEYER, JESPER (1991): *From Language to Nature: The Semiotic Metaphor in Biology*: Semiotica 84(1/2): 1-42.
- FRÖHLICH, H. (1968): *Long-range coherence and energy storage in biological systems*: Int. J. Quantum Chem. 2: 641-9.
- FRÖHLICH, H. (1970): *Long-range coherence and the actions of enzymes*: Nature 228:1093.
- (1975): *The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes*: Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A. 72:4211-4215.
- GEROCH, R. - HARTLE, J. B. (1986): *Computability and physical theories*: Foundations of Physics 16:533.
- GHIRARDI, G. C. - GRASSI, R. - RIMINI, A. (1990): *Continuous-spontaneous reduction model involvin gravity*: Phys. Rev. A. 42:1057-1064.

- GHIRARDI, G. C. - RIMINI, A. - WEBER, T. (1986): *Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems*: Phys. Rev. D. 34:470.
- GREEN, D. (1970): *The Conformational Basis of Energy Transduction in Biological Systems*: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 67, 544-549.
- HAGAN, S. - HAMEROFF, S. H. - TUSZYNSKI, J. (2002): *Quantum Computation in Brain Microtubules? Decoherence and Biological Feasibility*: Physical Reviews E., 65:061901.
- HAMEROFF, S. H. (2001): *Consciousness, the brain and spacetime geometry*: Annals New York Academy of Sciences, 929:74-104.
- HAMEROFF, S. H. - NIP, A. - PORTER, M. - TUSZYNSKI, J. (2002): *Conduction pathways in microtubules, biological quantum computation, and consciousness*: Biosystems 64(1-3):149-168.
- HAMEROFF, S. R. (1987): *Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and Nanotechnology*, Elsevier-North Holland, Amsterdam.
- (1996): *Cytoplasmic gel states and ordered water: Possible roles in biological quantum coherence*: Proceedings of the Second Advanced Water Symposium, Dallas, Texas, October 4-6, 1996. <http://www.u.arizona.edu/~hameroff/water2.html>
- (1998): *Anesthesia, Consciousness and Hydrophobic Pockets - A Unitary Quantum Hypothesis of Anesthetic Action*: Toxicology Letters 100/101:31-39.
- HAMEROFF, S. R. - PENROSE, R. (1995): *Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: a model for consciousness?*: Neural Network World, 5:793-804.
- HAMEROFF, S. R. - WATT, R. C. (1982): *Information processing in microtubules*: J. Theor. Biol. 98:549-561.
- HOFFMEYER, JESPER (1994): «The Global Semiosphere» (Paper presented at the 5th IASS congress in Berkeley, June 1995), en IRMENGARD RAUCH - GERALD F. CARR (eds.): *Semiotics Around the World. Proceedings of the Fifth Congress of the International Association for Semiotic Studies*, Berkeley, 1994. Berlin/New York: Mouton de Gruyter, 1997, pp. 933-936.
- (1997): «Biosemiotics: Towards a New Synthesis in Biology», en *European Journal for Semiotic Studies*, vol. 9, n.º 2:355-376.
- JACOB, FRANÇOIS (1970): *La Logique du Vivant. Une histoire de l'héritité*, Éditions Gallimard, Paris. [Traducido al castellano: *La Lógica de lo Viviente*, Tusquets Editores, col. Metatemas, n.º 59, Barcelona 1999.]
- Ji, S. (1974): *A General Theory of ATP Synthesis and Utilization*: Ann. NY Acad. Sci., 227, 211-226.
- JIBU, M. - HAGAN, S. - HAMEROFF, S. R. - PRIBRAM, K. H. - YASUE, K. (1994): *Quantum optical coherence in cytoskeletal microtubules: implications for brain function*: BioSystems 32:195-209.
- JIBU, M. - YASUE, K. (1995): *Quantum Brain Dynamics: An Introduction*, John Benjamins: Amsterdam.
- JIBU, M. - YASUE, K. - HAGAN, S. (1996): *Evanescence (tunneling) photon and cellular vision* (submitted).
- KAROLHAZY, F. - FRENKEL, A. - LUKACS, B. (1986): «On the possible role of gravity on the reduction of the wave function», en *Quantum Concepts in Space and Time*, R. Penrose - C. J. Isham (eds.), Oxford University Press.
- KORUGA, D. (1974): *Microtubule Screw Symmetry: Packing of Spheres as a Latent Bioinformation Code*: Ann. NY Acad. Sci., 466, 953-955.
- KRAMPEN, M. (1992): «Phytosemiotics revisited», en T. A. SEBEOK - J. UMIKER-SEBEOK (eds.): *Biosemiotics: The Semiotic Web 1991*, Mouton de Gruyter, Berlin, pp. 213-220.

- MARRIN, D. L. (1998): *Water's memory: A molecular perspective*, Conference in Towards a Science of a Conscience, Tucson Arizona, MIT Press.
- MARSHALL, I. N. (1989): *Consciousness and Bose-Einstein condensates: New Ideas in Psychology*, 7:73-83.
- MESQUITA, M. V. - VASCONCELLOS, A. R. - LUZZI, R. (1998): *Positive-Feedback-Enhanced Fröhlich's Bose-Einstein-Like Condensation in Biosystems*: Int. Journal of Quantum Chemistry, vol. 66, pp. 177-187.
- MONOD, JACQUES (1970): *Le Hasard et la Nécessité (Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne)*, Éditions du Seuil, Paris. [Edición en castellano: *El Azar y la Necesidad, Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*, Tusquets Editores, Col. Metatemas, n.º 6, Barcelona, 1981.]
- NICOLIS, G. - PRIGOGINE, I. (1994): *La estructura de lo complejo*, Alianza Editorial, Madrid.
- PATTEE, H. H. (1982): *Cell psychology: An evolutionary approach to the symbol-matter problem*: Cognition and Brain Theory 5(4), 325-341.
- (1982): «The need for complementarity in models of cognitive behavior», en W. WEIMER - D. PALERMO (eds.): *Cognition and the symbolic process*, vol. 2 (pp. 21-34), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- PEARLE, P. (1989): *Combining stochastic dynamical state vector reduction with spontaneous localization*: Phys. Rev. D., 13:857-868.
- PEARLE, P. - SQUIRES, E. (1994): *Bound-state excitation, nucleon decay experiments and models of wave-function collapse*: Phys. Rev. Letts. 73(1):1-5.
- PEIRCE, CHARLES S. (1931): *Obra Lógico-Semiótica*, Trad., Taurus Ediciones, Madrid 1987.
- PENROSE, R. (1989): *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*, Oxford University Press, Oxford. [Traducción en castellano: *La Nueva Mente del Emperador*, Ed. Mondadori, Madrid, 1991.]
- (1994): *Shadows of the Mind, A search for the Missing Science of Consciousness*, Oxford University Press, Oxford. [Traducción en castellano: *Sombras de la Mente. Hacia una comprensión científica de la Consciencia*, Ed. Grijalbo Mondadori, Crítica, col. Drakontos, Barcelona, 1996.]
- (1995a): «Why need a new physics for understand the mind», en MICHAEL P. MURPHY - LUKE A. J. O'NEILL (eds.): *What is Life? The Next Fifty Years. Speculations on the Future of Biology*, Cambridge University Press, Cambridge. [Traducción en castellano: «Por qué se necesita una nueva física para comprender la mente», en *La Biología del Futuro. ¿Qué es la vida? Cincuenta años después*, Tusquets Editores, col. Metatemas, n.º 58, Barcelona, 1999.]
- (1995b): «The conscience includes non computable ingredients», en JOHN BROKMAN (ed.): *The Third Culture, Beyond the Scientific Revolution*, Simon & Schuster, New York, NY. [Traducción en castellano: «La consciencia incluye ingredientes no computables», en *La Tercera Cultura, Más Allá de la Revolución Científica*, Tusquets Editores, col. Metatemas, n.º 43, Barcelona, 1996.]
- (1997): *The Large, the Small and the Human Mind*, Cambridge University Press, Cambridge. [Traducción en castellano: *Lo Grande, lo Pequeño y la Mente Humana*, Cambridge University Press, Madrid, 1999.]
- PENROSE, O. - ONSAGER, L. (1956): *Bose-Einstein condensation and liquid helium*: Phys. Rev. 104: 576-584.
- POPP, F. A. - BECKER G., KÖNIG - H. L. - PESCHKA, W. (eds.) (1979): *Electromagnetic Bio-Information*, München, Germany: Urban&Schwarzenberg, pp. 123-149.
- POPP, F. A. - LI, K. H. (1993): *Hyperbolic Relaxation as a Sufficient Condition of a Fully Coherent Field*: International Journal of Theoretical Physics, 32, 1573-1583.

- SEBEOK, T. A. (1972): *Perspectives on Zoosemiotics*, La Haya, Mouton.
- SHAROV, ALEXEI A. (1992): «Biosemiotics: A functional-evolutionary approach to the analysis of the sense of information», en T. A. SEBEOK - J. UMIKER-SEBEOK (eds.): *Biosemiotics: The Semiotic Web 1991*, Mouton de Gruyter, Berlin, pp. 345-374.
- TEGMARK, M. (2000): *The importance of quantum decoherence in brain processes*: Physical Reviews E., 61: 4194-4206.
- THOM, RENÉ (1988): *Esquisse d'une Sémiophysique*, Interditions, Paris. [Traducción al castellano: *Esbozo de una Semiofísica*, Editorial Gedisa, Barcelona 1990.]
- THOMSON, D'ARCY W. (1961): *On Grow and Form*, Cambridge University Press, Cambridge. [Traducción en castellano: *Sobre el Crecimiento y la Forma*, Cambridge University Press, Madrid, 1999.]
- UEXKÜLL, JACOB VON (1942): *La Teoría de la Significación*, Revista de Occidente, Madrid.
- VAN WIJK, ROELAND (1998): *Cellular photon emission and cytoskeletal activity*, Conference in Towards a Science of a Conscience, Tucson Arizona. MIT Press.
- VOLKENSTEIN, M. V. (1972): *The Conformer*: J. Theor. Biol., 34, 193-195.
- WALKER, EVAN H. (1977): «Quantum Mechanical Tunnelling in Synaptic and Ephatic Transmission», en *Int. Journal of Quantum Chemistry*, vol. 9, pp. 103-127.
- (2000): *The Physics of Consciousness: The Quantum Mind and the Meaning of Life*, Cambridge, MA: Perseus.
- YU, W. D. - CHANG, J. J. (1995): *Studies on the Development of Embryonic Chicken Brain Cells by means of Photon Emission*: Chinese Science Bulletin, 40:1317-1321.
- ZHANG, J. Z. - YU, W. D. - SUN, T. - POPP, F. A. (1997): *Spontaneous and light-induced photon emission from intact brains of chick embryos*: Science in China (Series C) 40(1), 44-51.

Universitat Autònoma de Barcelona
 Avda. de las Universidades, 24
 Calle Doctor Combellas, 14, 3.º A (Lleida)
 oscarcastrogarcia@yahoo.es

ÓSCAR CASTRO GARCIA

[Artículo aprobado para publicación en septiembre de 2005]