

PRIMACÍA DE LA LÓGICA QUÁNTICA EN EL MUNDO NATURAL

(Primacy of Quantum Logic in the Natural World)

Adunador: ALBERTO MEJÍAS*

Universidad de los Andes, Núcleo-Táchira
Departamento de Ciencias

¡Primero la Mente, Segundo la Materia, Tercero la Evolución!

CHARLES SANDERS PEIRCE, 1891.

Resumen: Se presenta evidencia, desde los campos de la Ciencia Cognitiva y de la Teoría Quántica de la Información, que sugiere que la teoría cuántica es la lógica fundamental dominante en el mundo natural, en desafío directo a la suposición de larga data, de que la lógica cuántica sólo necesita ser considerada 'en el ámbito cuántico'. Se presenta un resumen de la evolución de la Lógica Quántica y de la Teoría Quántica, junto con una revisión de la necesidad de la incompleción del conocimiento cuántico y algunos aspectos representativos de la lógica cuántica. Se puede argumentar que la lógica y teoría clásica es un subconjunto de la lógica y teoría cuántica, dado que existen elementos de la física cuántica que no admiten interpretación clásica, incluyendo: el Teorema BELL, el teorema HARDY y el teorema PUSEY-BARRETT-RUDOLPH. Se puede hallar sustento para la primacía de la lógica cuántica en el mundo natural en las ciencias cognoscitivas, donde recientes investigaciones reconocen lógica cuántica en estudios de: el subconsciente, decisiones que implican variables desconocidas interconectadas, la memoria y la secuenciación interrogacional.

Descriptor: Teoría Quántica; Información Quántica; Lógica Quántica; discernimiento Quántico, Ciencia Cognitiva.

Abstract: This paper presents evidence from the fields of cognitive science and quantum information theory suggesting quantum theory to be the dominant fundamental logic in the natural world, in direct challenge to the long-held assumption that quantum logic only need be considered 'in the quantum realm.' A summary of the evolution of quantum logic and quantum theory is presented, along with an overview for the necessity of incomplete quantum knowledge, and some representative aspects of quantum logic. A case can be made that classical logic and theory is a subset of quantum logic and theory, given that elements of quantum phys-

* ALBERTO R. MEJÍAS E. es Licenciado en Matemáticas, egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes (ULA) Mérida-Venezuela. Es profesor emérito de Topología, jubilado por la Universidad de los Andes. alrame59@gmail.com

ics exist that can never admit classical understanding, including: BELL's theorem, HARDY's theorem, and the PUSEY-BARRETT-RUDOLPH theorem. Support can be found for the primacy of quantum logic in the natural world in the cognitive sciences, where recent research studies recognize quantum logic in studies of: the subconscious, decisions involving unknown interconnected variables, memory, and question sequencing.

Keywords: Quantum theory; Quantum Information; Quantum Logic; Quantum cognition; Cognitive Science

1. EVOLUCIÓN DE LA LÓGICA QUÁNTICA

La lógica proporciona fundamentación para todas las ramas de la ciencia, a través de razonamientos abductivos, deductivos e inductivos. El filósofo norteamericano CHARLES SANDERS PEIRCE propuso un modelo según el cual estos tres tipos de razonamiento trabajan conjuntamente, empezando con el objetivo de abducción de extraer patrones, de datos y sugerir hipótesis plausibles; pasando luego a la deducción que refina a las hipótesis, basándose en muestras efectivas y procediendo a la inducción, para proporcionar fundamentación empírica [1] [2]. PEIRCE señala que las mentes humanas tienen una facilidad de razonamiento abductivo natural para hacer conjeturas exitosas y discernir significados, al escribir "*Mind is First, Matter is Second, Evolution is Third.*": "*Primero la mente, Segundo la Materia, Tercero la Evolución*" [3].

Discusiones sobre lógica cuántica por algunos logicistas tales como WOODS y PEACOCK, que se han centrado en la lógica cuántica deductiva, serán el principal foco de atención en este trabajo, debido a la escasez actual de la investigación en razonamiento no deductivo [4]. La lógica de cuántica es una, relativamente recién llegada, en el campo de la lógica, habiendo llegado en los últimos cien años con ideas sobre el mundo natural que demandan un cambio en nuestra forma de pensar acerca de cosas tales como no-localidad, causalidad y concientidad. La famosa cita de DAVID MERMIN, "*¡cállate y calcula!*" logró notoriedad para expresar frustración por la humillación de la falta de claridad de la teoría cuántica, en comparación con sus resultados matemáticos confiablemente predecibles.

Tal como la lógica booleana proporciona la base sobre la cual se forma la lógica computacional clásica moderna, ahora es necesaria una lógica cuántica claramente expresada, para aprovechar plenamente, la potencia computacional cuántica. La lógica booleana fue desarrollada en 1847 por el matemático inglés GEORGE BOOLE, que creía en lo que él llamó 'el proceso de análisis' —el proceso por el cual se logran combinaciones de símbolos, comprensibles. Interpretando conjunciones como intersecciones, disyunciones como uniones y negaciones como complementos, la lógica booleana proporciona la base por la cual pueden funcionar máquinas

de computación —tales como las inventadas por CHARLES BABBAGE— gracias a la forma que establece una base para las compuertas de lenguaje simbólico. Estas compuertas lógicas dan respuestas binarias en forma de unos o ceros al evaluar información que llega a una compuerta lógica básica tal como AND, OR o NOT, de acuerdo a reglas previamente definidas. Mientras que la lógica booleana es excelente para considerar consistentemente a clases y proposiciones, de manera ordenada, no puede abordar adecuadamente a la teoría cuántica.

BIRKHOFF y VON NEUMANN iniciaron el diálogo de lógica cuántica basado en un espacio de fase más complicado, señalando una correspondencia entre la dinámica clásica y la lógica booleana. [5] los siguientes cincuenta años marcaron el comienzo de un período de renacimiento para el enfoque lógico-algebraico de la teoría cuántica, inspirando hacia las comparaciones entre la lógica intuitiva y lógica cuántica [6]. El aumento de información cuántica ahora, proporciona discernimientos mucho más ricos y más amplios que los que la teoría clásica puede ofrecer [7].

La Lógica Quántica es tan novedosa, que todavía no existe una completa descripción de lo que es y cómo se relaciona con otra lógica. Una evaluación del filósofo EDWARD CRAIG, de la situación de la lógica cuántica, en la "Routledge Encyclopedia of Philosophy", muestra que es vista diferentemente, por miembros de tres campos: neoclasicistas, ontologistas de cuántica y logicistas de cuántica [8]. Mientras que los neoclasicistas consideran que la lógica cuántica no es más que una curiosidad matemática, los ontologistas de cuántica creen que la palabra 'lógica' es un nombre incorrecto cuando se considera junto con 'cuántica', puesto que el mundo físico puede ser especificado a través de medidas de probabilidad. Los logicistas de cuántica mantienen la posición de que la lógica cuántica es la lógica deductiva más integral, haciendo hincapié en que los intentos de encajar la teoría cuántica dentro de la lógica y operaciones clásicas, están condenados al fracaso [9], [10].

2. FUNDAMENTACIONES MEJORADAS DE LA TEORÍA QUÁNTICA

Con el telón de fondo de la falta de consenso en cuanto a una descripción completa de la lógica cuántica, encontramos que existe incertidumbre adicional con respecto a la forma matemática que puede describir mejor a algunos de los atributos únicos de la física cuántica. En el formalismo cuántico-probabilístico estándar, desarrollado por VON NEUMANN, los sistemas físicos se describen en términos de su asociación con espacios HILBERT, tales que los vectores unitarios, propios de cada sistema, corresponden a estados físicos posibles. Las operaciones lógico-cuánticas son decididamente diferentes de las operaciones booleanas clásicas. VON NEUMANN, explica: "*... la relación entre las propiedades de un sistema físico por un lado y las proyecciones, por el otro, hace posible una especie de cálculo lógico con éstas. Sin embargo, en contraste con los conceptos de la lógica ordinaria, este sis-*

tema se extiende por el concepto de 'decidibilidad simultánea' que es característico de la mecánica cuántica." [11].

A pesar de haber desarrollado el primer formalismo de la teoría cuántica, VON NEUMANN expresó insatisfacción con su formulación matemática, señalando a GARRET BIRKHOFF:

"Me gustaría hacer una confesión que puede parecer inmoral: no creo absolutamente en el espacio HILBERT. Después de todo, el espacio HILBERT (en lo que se refiere a cosas mecánico-cuánticas) se obtuvo por generalización del espacio euclideo, haciendo pie en el principio de 'conservación de la validez de todas las reglas formales'. ... Ahora empezamos a creer que no son los vectores lo que importa, sino el retículo de todos los subespacios (lineales) cerrados, porque: (1) los vectores deben representar a los estados físicos; pero, ellos lo hacen redundantemente, salvo un factor complejo, solamente y, además, (2) los estados son sólo una noción derivada, siendo la noción primitiva (dada fenomenológicamente), las cualidades que corresponden a los subespacios lineales cerrados." [12].

La preocupación de VON NEUMANN por las deficiencias intrínsecas de los espacios HILBERT, es compartida por miembros de las comunidades de teorizantes de la fundamentación cuántica y de la información cuántica, ya que trabajan para encontrar un mejor fundamento para la Teoría Cuántica. Ahora que los teorizantes de la información cuántica, han descubierto que la teoría cuántica se puede derivar de axiomas simples basados en las observaciones de las operaciones de laboratorio, somos capaces de obtener conocimientos útiles sobre el origen físico de la estructura de espacios de estados cuánticos, sin confundir al mapa epistémico con el territorio óntico [13]. Teorizantes de la información cuántica han demostrado además que la teoría cuántica es consistente con la noción de enmarañamiento, mientras que la teoría clásica de la probabilidad no lo es —lo que sugiere que la teoría clásica de la probabilidad es un caso especial de la teoría cuántica [14].

3. DE LOS ESTADOS DE CONOCIMIENTO INCOMPLETO

Cuando se considera a la física para describir la naturaleza de la realidad, se hace una distinción entre los estados de la realidad y los estados del conocimiento, según la cual el estado *óntico* es un estado de la realidad y el estado *epistémico* es un estado del conocimiento. En Física Clásica, se estudian los puntos en el espacio de fase, de donde se obtienen las especificaciones completas de todas las propiedades del sistema, que a veces se denominan "estados newtonanos". A tales estados se les reconoce como estados *ónticos*. En consideraciones de Mecánica Estadística Clásica, también se estudian las distribuciones de probabilidad, en espacios de fase,

teniendo claro que estas descripciones no describen todas las propiedades de un sistema. Estos "estados LIOUVILLE", como se les denomina a veces, son estados *epistémicos*.

La distinción entre estados ónticos y epistémicos se trastorna al considerar estados epistémicos que describan al conocimiento completo, ya que tales casos especiales también contienen una especificación completa de las propiedades de un sistema. Por esta razón, aquellos que asumen la visión epistémica de los estados cuánticos, centran su atención en estados epistémicos que describen a conocimientos incompletos. Un aspecto clave de este punto de vista, según lo expresado por SPEKKENS, es:

"todos los estados cuánticos, mixtos y puros, son estados de conocimiento incompleto." [15].

Uno de los aspectos más intrigantes de examinar estados LIOUVILLE con estados cuánticos, es la notable semejanza entre fenómenos que aparecen en la mecánica LIOUVILLE y lo que se observa en estados cuánticos puros, que no aparecen en los sistemas que comprenden a estados de conocimiento completo. Estos fenómenos incluyen a: un teorema de no clonación, imposibilidad de discriminar a tales estados con absoluta certidumbre, falta de divergencia exponencial entre esos estados bajo evolución caótica y enmarañamiento. Como apunta SPEKKENS,

"Esto sugiere que uno obtendría una mejor analogía con la teoría cuántica, si los estados de conocimiento completo fueran, de alguna manera, imposibles de lograr; es decir, si de alguna manera el conocimiento máximo siempre fuera siempre un conocimiento incompleto... ..De hecho, la teoría de juegos sugiere que la restricción sobre el conocimiento debería de tomar una forma particular; a saber, que el conocimiento al que uno acceda, sea cuantitativamente igual a la ignorancia de uno en un estado de conocimiento máximo." [15].

SPEKKENS llama la atención sobre la contextualidad y la idea de que mientras que la elección de cómo llevamos a cabo un experimento determinado, no afecta a los resultados estadísticos experimentales, esa elección, definitivamente, influye en el conocimiento acerca de lo que está sucediendo en realidad. Y mientras que nosotros podríamos haber esperado que pudiéramos detectar experimentalmente, tales cambios, esta noción de contextualidad que presenta SPEKKENS nos muestra que tales señales informativas no se consiguen. Cuando consideramos a la realidad como no local, entonces añadir esta idea de contextualidad indica que debe estar funcionando un ajuste excepcional, para evitar que nuestros cambios en el conocimiento influyan en cambios en las predicciones de lo que observaremos.

Los sistemas sobre los cuales se presenta conocimiento incompleto, incorporan cualidades especiales y la lógica cuántica tiene la ventaja a la hora de proporcionar información sobre la relación entre conocimiento, espacio y tiempo.

4. PERSPECTIVAS DE DERIVACIÓN DE LA TEORÍA QUÁNTICA

Muchos problemas, aparentemente insolubles con la interpretación ortodoxa, podrían, en principio, ser un medio de visualización de la teoría cuántica a través de los supuestos de la lógica clásica. Para minimizar tal sesgo clásico, algunos físicos de fundamentos cuánticos, encontraron una manera de derivar la teoría cuántica desde cero. En 2001, LUCIEN HARDY presentó un elegante método para derivar la teoría cuántica de cinco axiomas simples, que implican: probabilidades, simplicidad, subespacios, sistemas compuestos y continuidad [16]. MASANES y MÜLLER continuaron este enfoque, señalando en su documento de 2011, que la derivación de la teoría cuántica de cinco requisitos físicos simples *"es más similar a la formulación habitual de la relatividad especial, donde dos simples requisitos físicos — los principios de la relatividad y la invariancia de la velocidad de la luz, se utilizan para derivar la estructura matemática del espaciotiempo minkowskiano."* [13].

Una revisión cuidadosa de los fenómenos cuánticos que no pueden describirse en términos clásicos puede ofrecer perspectivas únicas de la verdadera realidad óptica de la Naturaleza, así como ventajas prácticas para la Ciencia de la Información. GIULIO CHIRIBELLA contribuyó con la inclusión de un sexto axioma —la suposición de un postulado de purificación— tal que la evaluación de SCHRÖDINGER del enmarañamiento, ofrece la esencia del postulado así,

"El conocimiento máximo de un sistema total, no necesariamente incluye al máximo conocimiento de todas sus partes." [17].

CHIRIBELLA señala que las teorías sólo pueden satisfacer este postulado de purificación si contienen estados enmarañados. Combinando este postulado con los cinco axiomas, CHIRIBELLA *et al* demostraron que es posible derivar con éxito toda la teoría cuántica [14].

Además de la claridad conceptual conferida por esta derivación de la teoría cuántica, es claro que muchos fenómenos cuánticos que parecen misteriosos desde un punto de vista óptico, parecen ser mucho más naturales cuando se miran desde una perspectiva epistémica, donde se considera a la teoría cuántica como una especie de teoría no clásica de la probabilidad. Fenómenos tales como interferencia, enmarañamiento y teleportación pueden ser justificados no sólo matemáticamente, sino también, desde una interpretación epistémica. Mucha confusión se aclara al interpretar al estado cuántico como una distribución de probabilidad que se presenta en un dominio imaginario, en lugar de un estado físico de la realidad. Desde tal perspectiva, el "problema de medición" puede considerarse más de un problema

con la interpretación ortodoxa de la teoría cuántica, que un aspecto intrínseco de la teoría cuántica. Esto ocurre debido a que en la interpretación ortodoxa de la teoría cuántica, un estado cuántico evoluciona, se mide en algún momento en el tiempo y colapsa, dando la apariencia de ser temporariamente asimétrico. En contraste, la perspectiva de la teoría psi-epistémica de información cuántica, considera a las influencias retrocausales como parte natural del proceso cuántico [15].

5. ASPECTOS DE LA TEORÍA QUÁNTICA QUE NO PUEDEN SER CLÁSICOS

El hecho de que algunos aspectos de la física cuántica no pueden admitir una interpretación clásica, establece una razón fuerte para que la Naturaleza, fundamentalmente, deba de ser cuántica. Tres aspectos de la física cuántica que no encajan lógicamente en construcciones clásicas incluyen: el teorema BELL —que demuestra que ninguna teoría física de variables ocultas locales, puede reproducir todas las predicciones de la mecánica cuántica— el teorema HARDY —que demuestra que incluso los sistemas cuánticos finito-dimensionales deben contener una cantidad infinita de información— y el teorema PUSEY-BARRETT-RUDOLPH —que indica que la función ondal debe ser una propiedad objetiva de un sistema cuántico individual [18], [19], [20].

El teorema del físico irlandés JOHN STEWART BELL, presenta una de las más fuertes pruebas de la no localidad cuántica. BELL consideró al sistema de EINSTEIN-PODOLSKY-ROSEN (EPR) y demostró que todos los modelos imaginables de la realidad deben incorporar a esta conexión instantánea —mostrando que a pesar de que la relatividad prohíbe las conexiones instantáneas, la realidad de las partículas EPR es tal, que su contacto inicial debe crear un vínculo instantáneo entre ellas [21].

LUCIEN HARDY diseñó un experimento en el que un electrón y su antipartícula, el positrón, pueden ser detectados en uno de dos interferómetros. Sin embargo, una cierta combinación de detectores sólo puede ser seleccionada por el par si las dos partículas han viajado anteriormente a lo largo de trayectorias alabeadas en las que se aniquilaron mutuamente —lo que significa que no pueden llegar a los detectores. Salvo que en muchos casos, llegan a los detectores. El teorema HARDY de imposibilidad, muestra que incluso los sistemas cuánticos de dimensión finita, deben contener una cantidad infinita de información —y, como han señalado otros físicos, la antimateria no es necesaria para demostrar el éxito de estos experimentos— [18], [19].

6. MODELOS QUÁNTICOS DE DISCERNIMIENTO

En las ciencias cognitivas se puede encontrar sustentación para la primacía de la lógica cuántica en el mundo natural. La conexión entre lógica y discerni-

miento es fuerte, ya que el propósito original de la lógica es elucidar la estructura del razonamiento humano. Mientras que un sesgo hacia el materialismo reduccionista y la lógica booleana, en el campo de la ciencia cognitiva, ha contribuido mucho en cuanto a la comprensión de mecanismos cognitivos, muchos problemas permanecen sin resolver. El nuevo campo del discernimiento cuántico ha presentado un conjunto común de principios de la teoría cuántica, que explican algunos desconcertantes fenómenos de comportamiento humano, observados en las elecciones (tomas de decisiones). La teoría cuántica proporciona posibles explicaciones para: la elección "irracional", errores de juicio de probabilidad de conjunción y disyunción, errores de sobre- y sub-extensión en combinaciones conceptuales, conceptos ambiguos, efectos de orden sobre la interferencia probabilística, interferencia de categorización en las elecciones, efectos de orden en cuestión de actitud y una variedad de otros resultados sorprendentes en el campo de la investigación de las elecciones [22], [23].

Un caso convincente ha sido logrado por investigadores que han comparado sistemáticamente a las teorías de probabilidad clásica y cuántica, al modelar fenómenos cognitivos. Señalan que con respecto a su valor en modelación exitosa del discernimiento humano, las teorías de probabilidad cuántica y clásica, a menudo exhiben *"perfecto acuerdo cuando todos los eventos bajo consideración son compatibles. La necesidad del enfoque cuántico sólo se presenta cuando se trata de sucesos incompatibles, lo que impone necesariamente, una evaluación secuencial de los eventos. Esta incompatibilidad produce estados de superposición de incertidumbre que resultan en violaciones de algunas de las leyes importantes de la teoría clásica de la probabilidad"*. [24].

Una de las ventajas de un modelo de discernimiento humano, basado en probabilidad cuántica, es que un tal modelo representa lo que se observa en el comportamiento cognitivo humano. Las elecciones que la gente efectivamente hace en el Dilema del Prisionero y las de juegos de decisiones en dos etapas, son mejor explicados por la probabilidad cuántica, que por la clásica y cosas tales como la memoria y la cognición no verbal se entienden mejor por la teoría y la lógica cuánticas, también.

Dos aspectos de la teoría cuántica que son especialmente prometedores para proporcionar un consistente marco para abordar problemas de larga data en el campo de la cognición, son contextualidad y enmarañamiento [6], [25]. La contextualidad se puede interpretar mediante el concepto, algo análogo, de interferencia, que puede ocurrir en los sistemas cuánticos superpuestos; es decir: interpretamos el significado de una palabra basados en su contexto circundante.

Lingüistas y científicos cognitivistas advierten que la lógica cuántica coincide con la conducta humana y que mucho de nuestro pensamiento opera a un nivel en gran parte inconsciente [26]. GARDENFORS *et al* informan que debemos ir por debajo del nivel simbólico de la cognición, señalando que, "*...la información acerca de un objeto puede ser de dos tipos: proposicional y conceptual. Cuando la nueva información es proposicional, uno aprende nuevos hechos sobre el objeto, por ejemplo, que x es un pingüino. Cuando la nueva información es conceptual, uno clasifica el objeto de una nueva manera, por ejemplo, x es visto como un pingüino en vez de como un pájaro.*" [27].

Una 'lógica cuántica subsumida' se manifiesta en una variedad de funciones cognitivas, donde la fuerza de las asociaciones entre conceptos varía dinámicamente bajo la influencia del contexto, que luego influye en los valores predeterminados que albergaba dentro de los niveles simbólicos de la cognición [28]. Así parece que la memoria humana opera a través de la recuperación de información cuántica [29] y que las personas responden a las secuencias de encuestas interrogacionales según la teoría cuántica de probabilidades, proveyendo una simple descripción de regularidad sorprendente, con respecto a los efectos de orden de medición [30].

Examinar la recuperación de la información a nivel simbólico — como la que se requiere, por ejemplo, para determinar el correcto contexto de una palabra como "bate", nos impulsa a advertir que la memoria humana parece operar a través de procesos cuánticos de recuperación de la información. Podemos determinar qué tipo de "bate" se conoce, gracias a reconocer palabras comúnmente asociados con ella, tales como "sacude, mezcla, agitador" o "béisbol, jonrón, equipo". El enmarñamiento cuántico ofrece una base conceptual por la que sistemas cuánticos, aparentemente separados, se comportan como uno y su significado contextual puede ser correctamente interpretado [29], [31].

Un concepto clave en el campo de la cognición cuántica, es el reconocimiento del hecho de que los seres humanos responden a preguntas exactamente iguales, diferentemente, según el orden de las preguntas. Esto puede hacer una gran diferencia cuando el efecto se extiende a través de un gran número de personas al votar o ser encuestadas por sus opiniones. La idea de la igualdad de la "interrogación cuántica", se basa en el supuesto de partida de que se puede representar al conocimiento de una persona, utilizado para responder preguntas, en forma de un espacio muy altamente multidimensional, que puede ser descrito por un conjunto de ejes ortogonales. Mientras que este arreglo representacional del conocimiento de una persona no cambia en base a interrogatorios o el contexto de los interrogatorios, la manera en que se utiliza el conocimiento varía en base a las preguntas y el contexto en el que se hacen las preguntas. La llamada igualdad de la "interrogación cuánti-

ca" presentada por WANG *et al*, muestra cómo la misma teoría cuántica de probabilidades, que explica a la, de otra manera misteriosa, no conmutatividad de las mediciones en física, también puede proporcionar excelentes predicciones de medición para interrogaciones de efectos del orden, en experimentos sociales y de ciencias de la conducta.

"(i) Las apreciaciones humanas, tales como los juicios de actitudes, no son, a menudo, simplemente lecturas de la memoria; sino que, por el contrario, se elaboran a partir del estado cognitivo para la pregunta en cuestión; y (ii) presentar una conclusión, a partir de una pregunta, cambia al contexto y perturba al sistema cognitivo, que entonces, (iii) afecta a la respuesta a la siguiente pregunta, produciendo efectos de orden; así que (iv) los juicios humanos no siempre obedecen a la regla conmutativa de la lógica booleana. Si reemplazamos "apreciaciones humanas" por "mediciones físicas" y sustituimos "sistema cognitivo" por "sistema físico", entonces estas son exactamente las mismas razones que llevaron a los físicos para el desarrollo de la teoría cuántica, en primer lugar." [30].

También se evidencia enmarañamiento en experimentos que consideran a opciones en juegos. Los participantes en el estudio, fueron informados de que jugaban en una situación en la que tenían probabilidades de ganar \$200 o de perder \$100 y luego se les preguntaba si querían jugar el mismo juego una segunda vez. En una condición, se les dijo que ganaban su primer juego; en una segunda condición, se les dijo que perdían el primer juego y, en una tercera condición, no recibieron ninguna información con respecto al resultado. Cuando las personas tuvieron la oportunidad de elegir jugar este juego de dos etapas, dos veces seguidas, los participantes, sorprendentemente, decidieron jugar otra vez cuando sabían el resultado de su primer juego (69% ganar / 59% perder), en comparación con la elección de jugar otra vez con resultado inicial desconocido, de sólo el 36% y estos resultados se observaron cuando realmente estuvo en juego dinero efectivo [32].

Hay una diferencia notable entre el axioma de conmutatividad de la lógica clásica y la cualidad complementaria de lógica cuántica. Las operaciones pueden considerarse en cualquier secuencia en operaciones lógicas deductivas clásicas, por lo que el orden de considerar dos proposiciones independientes tales como "un preso es culpable" y "el preso debe ser castigado" pueden ser aceptadas o rechazadas al considerarlas en cualquier orden. La teoría cuántica exige consideración secuencial, debido a las relaciones contextuales entre las ideas de culpa y castigo [33].

Los investigadores de la cognición cuántica consideran al conjunto de estados básicos como a un conjunto de órdenes de preferencia sobre acciones, permitiendo a los individuos, superposiciones de todos los órdenes posibles, sin tener asignado ningún orden particular. Mediante tales métodos de investigación, los in-

investigadores han encontrado así evidencias de procesos cuánticos que funcionan en la cognición humana. Si el comportamiento humano siguiera la lógica de un proceso MARKOV, la gente estaría comprometida con un y sólo un orden de preferencia en un momento dado, aunque ese orden de preferencia pueda cambiar de vez en cuando. Un individuo que siguiera la lógica de un proceso cuántico, por el contrario, experimentaría una superposición de órdenes de preferencia, por lo que en cualquier momento dado, ellos informarían que no tiene asignado ningún orden particular [32].

7. DELATAR O NO DELATAR

Se obtuvieron similares resultados inesperados, en juegos bipersonales, del Dilema del Prisionero, violando las nociones de razonamiento racional, subsumidas en el principio de la "cosa segura", de SAVAGE [34]. El principio SAVAGE de la "cosa segura" establece que si un elector (tomador de decisiones) tomaría una determinada acción si supiera que ocurrió un evento particular E y también si supiera que se produjo la negación del evento E, entonces tomaría esa acción incluso si no supiera nada acerca del evento E. El razonamiento en el Dilema del Prisionero ha demostrado ajustarse mejor a la lógica cuántica que a la lógica clásica. En el Dilema del Prisionero, dos sospechosos, Alice y Bob, son aprehendidos e interrogados por separado, uno del otro. Alice y Bob recibirán el mismo trato si ambos permanecen silenciosos (cooperan) y no delatan uno al otro (defecto), ambos salen libres. Si Bob delata a Alice, pero Alice no delata a Bob, Bob sale libre y recibe una recompensa, mientras que Alice recibe la sentencia máxima. El mismo escenario se invierte si Alice delata y Bob no. Si ambos se delatan mutuamente, ambos reciben sentencias reducidas. Según la lógica clásica, se esperaría que el interés propio de cada persona condujera su decisión, que cada uno delatara al otro en el 90% de las veces. Pruebas reales en seres humanos han demostrado repetidamente que la gente elige no delatar el 40% de las veces, en lugar de la predicción clásica del 10%.

Curiosamente, cuando uno calcula las probabilidades según la teoría cuántica de probabilidades, surge una estrategia muy diferente —una que parece ser parte intrínseca del razonamiento humano. En estudios experimentales, la gente favorece imaginar al resultado óptimo en el que Alice y Bob permanece en silencio y ambos salen libres. Cuando asumimos una condición de "enmarañamiento maximal" en la evaluación de las probabilidades cuánticas para este experimento, encontramos que la más racional elección matemática cuántica es, por tanto, que ambos permanezcan en silencio [35].

Estudios posteriores han replicado estos resultados, proporcionando hallazgos empíricos que sugieren que la teoría clásica de probabilidades no es un marco apropiado para el modelado de la cognición. Investigadores en el campo de la cog-

nición cuántica creen que la cognición humana debe de ser modelada probabilísticamente, mientras que señalan que *"la teoría clásica de probabilidades es demasiado restrictiva para describir completamente la cognición humana"*.

CONCLUSIONES

Aunque durante mucho tiempo se ha presumido que la lógica cuántica funciona junto al ámbito clásico o dentro de él, nos beneficiamos contemplando a la teoría y a la física clásicas como casos especiales dentro de la, más grande, realidad cuántica. Este documento muestra sustento para la posición de los logicistas cuánticos que afirman que la lógica cuántica es la más completa lógica deductiva. Esto se demuestra por la derivabilidad de la teoría cuántica de un axioma fundamental adicional más allá de los requeridos para derivar la teoría clásica y la evidencia de que algunos aspectos fundamentales de la física cuántica, no pueden admitir una interpretación clásica. El reconocimiento de que la lógica y la teoría clásicas son un subconjunto de un 'caso especial' de la, mayor, totalidad cuántica, nos invita a reevaluar íntegramente, nuestras suposiciones con respecto a la manera de ver al mundo y de lo que consideramos ser 'lógico'.

El carácter fundamental de la lógica cuántica nos presenta una oportunidad de que muchos fenómenos naturales, previamente misteriosos, que exclusivamente forman parte de la teoría cuántica, tales como el enmarañamiento, puedan ahora, ser mejor comprendidos. Este trabajo también permite sustentar una conexión entre la evidente primacía de la lógica cuántica deductiva, en física y la importancia del razonamiento cuántico, en los procesos cognitivos humanos. La consideración del carácter primario de la teoría y la lógica cuánticas, en el mundo natural, ayuda a explicar por qué la evolución humana presenta un sistema de razonamiento basado en probabilidad cuántica y revela lógica cuántica en la manera en que los seres humanos toman decisiones y registran recuerdos.

Un mejor entendimiento de la lógica cuántica sugiere que podemos investigar cómo comunicamos contextualidad con otros en nuestras redes sociales; cómo podemos sentir realidades posibles en medio de una superposición de estados y cómo se enmarañan los estados cognitivos. Se necesita investigación adicional en los campos de razonamiento cuántico inductivo y abductivo, para determinar qué ideas pueden encontrarse en razonamientos no-deductivos, para proporcionar una comprensión más completa de áreas tales como funcionamiento cognitivo humano, computación cuántica e inteligencia artificial.

Al lograr una apreciación más profunda de la posibilidad del carácter primario de la lógica cuántica, en el mundo natural, podemos ver cómo se puede beneficiar la humanidad, de abrazar la lógica cuántica inmanente, implícita en todas las cosas. Así podemos imaginar cómo la incorporación de la teoría cuántica marca el

comienzo de una nueva percepción de todas las áreas de estudio, incluyendo: Biología, Psicología, Sociología, Cosmología, Estadística e Historia. La idea de que los fenómenos cuánticos se producen a todos los niveles —no sólo a niveles micrométricos— indica que podemos desarrollar una perspectiva cuántica más funcionalmente predictiva y naturalmente basada, que promete corregir totalmente, nuestra cosmovisión.

Un aspecto de esta nueva visión del mundo parece ser que: unificar toda lógica bajo un toldo cuántico tiene un precio. A pesar de nuestro deseo de algún día saber todo lo que hay que saber, la teoría cuántica nos informa ahora, que en un estado de conocimiento máximo, nuestro conocimiento es cuantitativamente igual a nuestra ignorancia. Es posible encontrar un sentido de admiración y reverencia al apreciar un lado de la Naturaleza descrito en la observación de LAO TZU, "*cuanto más sabes, menos comprendes*".

REFERENCIAS:

- [1] YU, CHONG HO. "Abduction? Deduction? Induction? Is There a Logic of Exploratory Data Analysis?." (1994).
- [2] PEIRCE, CHARLES SANDERS. "How to make our ideas clear." (1878).
- [3] PEIRCE, CHARLES S. "The Architecture of Theories." *The Monist* 1.2 (1891): 161-176.
- [4] WOODS, JOHN, and PEACOCK, KENT A. "Quantum Logic and the Unity of Science." (2004): 257-287.
- [5] BIRKHOFF, GARRETT, and VON NEUMANN, JOHN *The logic of quantum mechanics.* Springer Netherlands, 1975.
- [6] DE BARROS, J. ACACIO; OAS, GARY and PATRICK SUPPES. "Negative probabilities and Counterfactual Reasoning on the double-slit Experiment." arXiv preprint arXiv:i4i2.4888 (2014).
- [7] DUNN, J. MICHAEL; MOSS, LAWRENCE S. and WANG, ZHENG HAN. "The third life of quantum logic: Quantum logic inspired by quantum computing." arXiv preprint arXiv:i302.3465 (2013).
- [8] CRAIG, EDWARD, ed. *Routledge encyclopedia of philosophy: questions to sociobiology.* Vol. 8. Taylor & Francis, 1998.
- [9] PUTNAM, HILARY. "A philosopher looks at quantum mechanics (again)." *The British journal for the philosophy of science* 56.4 (2005): 615-634.
- [10] DEUTSCH, DAVID. "Quantum Theory as a Universal Physical Theory."
- [11] VON NEUMANN, J., 1932, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin: Springer-Verlag; English translation: *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton: Princeton University Press, 1955.

- [12] REDEI, MIKLOS. "Why John von Neumann did not like the Hilbert space formalism of quantum mechanics (and what he liked instead)." *Studies In History and Philosophy of Science Part B: Studies In History and Philosophy of Modern Physics* 27.4 (1996): 493-510.
- [13] MASANES, LLUIS, and MÜLLER, MARKUS P. "A derivation of quantum theory from physical requirements." *New Journal of Physics* 13.6 (2011): 063001.
- [14] BRUKNER, CASLAV. "Questioning the rules of the game." *Physics* 4 (2011): 55.
- [15] SPEKKENS, ROBERT W. "Evidence for the epistemic view of quantum states: A toy theory." *Physical Review A* 75.3 (2007): 032110.
- [16] HARDY, L. *Quantum Theory From Five Reasonable Axioms*. No. quant-ph/0101012. 2001.
- [17] CHIRIBELLA, GIULIO; D'ARIANO, GIACOMO MAURO and PERINOTTI, PAOLO. "Informational derivation of quantum theory." *Physical Review A* 84.1 (2011): 012311.
- [18] JENNINGS, DAVID, and MATTHEW LEIFER. "No Return to Classical Reality." arXiv preprint arXiv:1501.03202 (2015).
- [19] PUSEY, MATTHEW F., JONATHAN BARRETT, and TERRY RUDOLPH. "On the reality of the quantum state." *Nature Physics* 8.6 (2012): 475-478.
- [20] HARDY, LUCIEN. "Quantum ontological excess baggage." *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 35.2 (2004): 267-276.
- [21] BELL, JOHN S. "On the einstein-podolsky-rosen paradox." *Physics* 1.3 (1964): 195- 200.
- [22] BRUZA, PETER; BUSEMEYER, JEROME and GABORA, LIANE. "Introduction to the Special Issue on Quantum Cognition." *cognition* 53: 303-305.
- [23] BUSEMEYER, JEROME R., et al. "Applying quantum principles to psychology." *Physica Scripta* 2014.T163 (2014): 014007.
- [24] BRUZA, PETER D., ZHENG WANG, and JEROME R. BUSEMEYER. "Quantum cognition: a new theoretical approach to psychology." *Trends in cognitive sciences* 19.7 (2015): 383-393.
- [25] DE BARROS, J. A. "Joint probabilities and quantum cognition." (2012).
- [26] BRUZA, PETER D., and RICHARD COLE. "Quantum Logic of Semantic Space: An Exploratory Investigation of Context Effects in Practical Reasoning." *We Will Show Them: Essays in Honour of Dov Gabbay* (2005): 339-361.
- [27] GÄRDENFORS, P. "Conceptual Spaces: The Geometry of Thought." MIT Press, 2000.

- [28] BRUZA, P. D. WIDDOWS, D. and WOODS, J. H. "A quantum logic of down below." *Handbook of Quantum Logic and Quantum Structures Quantum Logic* (2009): 625.
- [29] KITTO, KIRSTY; BRUZA, PETER and GABORA, LIANE. "A quantum information retrieval approach to memory." *Neural Networks (IJCNN), The 2012 International Joint Conference on. IEEE, 2012.*
- [30] WANG, ZHENG, et al. "Context effects produced by question orders reveal quantum nature of human judgments." *Proceedings of the National Academy of Sciences III.26* (2014): 9431-9436.
- [31] BRUZA, PETER; JEROME R. BUSEMEYER, and LIANE GABORA. "Introduction to the special issue on quantum cognition." *Journal of Mathematical Psychology* 53.5 (2009): 303-305.
- [32] POTHOS, EMMANUEL M. and BUSEMEYER, JEROME R. "A quantum probability explanation for violations of 'rational' decision theory." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (2009): rspb-2009.
- [33] BUSEMEYER, JEROME R. and WANG, ZHENG. "What is Quantum Cognition and How Is It Applied to Psychology?." (2014).
- [34] SHAFIR, ELДАР; SIMONSON, ITAMAR and TVERSKY, AMOS. "Reason-based choice." *Cognition* 49.1 (1993): II-36.
- [35] MUSSER, GEORGE. "A new Enlightenment." *Scientific American* 307.5 (2012): 76-81.
- [36] POTHOS, EMMANUEL M., and BUSEMEYER, JEROME R. "A quantum probability explanation for violations of 'rational' decision theory." *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* (2009): rspb-2009.
- [37] LARSON, CYNTHIA SUE. "Primacy of Quantum Logic in the Natural World". *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy*, vol. 11, no. 2 (2015).