



La mecánica cuántica y la conceptualidad: materia, historias, semántica y espacio-tiempo

Diederik AERTS



RESUMEN

Elaboramos aquí una nueva interpretación propuesta recientemente de la teoría cuántica, según la cual las partículas cuánticas son consideradas como entidades conceptuales que median entre los pedazos de materia ordinaria los cuales son considerados como estructuras de memoria para ellos. Nuestro objetivo es identificar qué es lo equivalente para el ámbito cognitivo humano de lo que el espacio-tiempo físico es para el ámbito de las partículas cuánticas y de la materia ordinaria. Para ello, se identifica la noción de “historia” como el equivalente en la esfera cognitiva humana de lo que la materia ordinaria es en el ámbito físico cuántico. Analizamos también el papel desempeñado por los conectivos lógicos de disyunción y de conjunción con respecto a la noción de localidad. De manera similar a lo que hemos hecho en investigaciones anteriores referidas a esa nueva interpretación de la teoría cuántica, se utiliza el entorno cognitivo específico de la Internet para dilucidar las comparaciones que hacemos entre el ámbito cognitivo humano y el ámbito físico cuántico.

PALABRAS-CLAVE • Lógica cuántica. Mezclas impropias. Conjuntos convexos.

INTRODUCCIÓN

El objetivo general de este trabajo es el de continuar con la elaboración de una nueva interpretación de la mecánica cuántica ya presentada (cf. Aerts, 2009b, 2010a, 2010b). Nuestro interés en este trabajo es el de discutir de modo profundo las similitudes y diferencias que existen entre el ámbito cognitivo de los seres humanos y el ámbito de las partículas cuánticas consideradas como entidades conceptuales con respecto a las nociones de materia y de espacio-tiempo. En artículos anteriores, sostuvimos la idea de que el ámbito cognitivo humano se encuentra mucho menos organizado como una estructura conceptual que el ámbito cognitivo cuántico (cf. Aerts, 2009b, sección 4). Nuestras reflexiones sobre las nociones de espacio-tiempo intentan hacer esa diferencia más concreta así como también identificar las profundas similitudes existentes.

En nuestra nueva interpretación de la teoría cuántica (cf. Aerts, 2009b, 2010a, 2010b), las entidades cuánticas se encuentran mediadas como entidades conceptuales entre pedazos de materia ordinaria que funcionan como una estructura de memoria

para las entidades cuánticas. Por “materia ordinaria” entendemos la substancia constituida de fermiones elementales, o sea, quarks, electrones y neutrinos, incluyendo entonces a todos los núcleos, átomos, moléculas, objetos materiales macroscópicos así como también aparatos de medición. Los conceptos humanos y las combinaciones de ellos, frases, pedazos de texto etc. son mediadores bien entre nuestras mentes humanas, bien entre memorias artificiales o bien entre unas y otras. De modo más plausible, y debido a la evolución producida durante billones de años, a través de selecciones y variaciones, el proceso mediador conceptual cuántico a adquirido una muy profunda estructura simétrica. Es debido a ello que puede ser modelada matemáticamente a través del formalismo cuántico como existe en el presente. Si bien es cierto que la teoría cuántica, en tanto teoría física es en extremo compleja, en tanto teoría matemática resulta relativamente sencilla. En el formalismo cuántico, los estados de las entidades se encuentran representadas por vectores unitarios en un espacio de Hilbert de dimensión infinita, mientras que los observables, relacionados con los procesos de medición, se encuentran descritos por operadores auto-adjuntos en ese espacio de Hilbert complejo. La evolución dinámica se encuentra descrita por la ecuación de Schrödinger, o dicho de modo más general, a través de una transformación unitaria en el espacio de Hilbert. La medición dinámica se encuentra descrita por los proyectores ortogonales de la descomposición espectral de estos operadores auto-adjuntos que representan el observable a ser medido. Como una consecuencia de la medición, el estado proyectado se encuentra normalizado, lo cual en el discurso utilizado en la mecánica cuántica se llama comúnmente “colapso”.

El proceso cognitivo de mediación humana tiene tan solo unos miles de años, y debido a ello, se encuentra en un desarrollo primitivo, si se lo compara con el proceso de mediación cuántica. Eso significa que resulta esperable que cualquier teoría matemática para el ámbito cognitivo humano debiera ser mucho más compleja que el formalismo cuántico. De cualquier modo, debido a la profunda correspondencia ontológica – ambos son procesos cognitivos fundamentales entre estructuras de memoria – el formalismo cuántico puede ser aplicado para describir y modelar un gran número de efectos que aparecen en la cognición humana, como ha sido mostrado a partir de los numerosos resultados obtenidos en el ámbito de la “cognición cuántica” (cf. Aerts, 2009a; Aerts & Aerts 1995; Aerts, Aerts & Gabora 2009; Aerts & Czachor, 2004; Aerts & D’Hooghe, 2009; Aerts & Gabora 2005a, 2005b; Aerts *et al.*, 2011; Bruza & Cole, 2005; Bruza *et al.*, 2008; Bruza *et al.*, 2009; Busemeyer, Wang & Townsend, 2006; Busemeyer *et al.*, 2011; Gabora & Aerts, 2002; Khrennikov & Haven, 2009; Pothos & Busemeyer, 2009; Van Rijsbergen, 2004; Widdows, 2003; Widdows & Peters, 2003). Eso significa que el formalismo cuántico puede servir como una base para el desarrollo de un poderoso formalismo matemático que sirva para considerar la cognición humana.

Respecto de la estructura de los procesos cognitivos humanos que presentaremos en este artículo, nos detendremos especialmente en las similitudes con el formalismo cuántico. Esto incluye el riesgo de que, como el formalismo cuántico, estemos considerando una estructura demasiado simple y concreta para capturar todos los procesos cognitivos humanos. Se necesitará entonces de una investigación mucho más profunda en el futuro de aquella que hemos presentado en el pasado (cf. Aerts, 2009b, 2010a, 2010b) y de la que presentaremos aquí. Esa investigación podría inspirarse para su desarrollo en el formalismo llamado SCOP (State Concept Property) que hemos presentado en investigaciones anteriores (cf. Aerts 2002; Aerts & Gabora, 2005a, 2005b; Gabora & Aerts, 2002) referidas al uso del formalismo cuántico para modelar la combinación de conceptos humanos.

I LO ABSTRACTO, LO CONCRETO, LOS CONCEPTOS Y LOS OBJETOS

Respecto de nuestra nueva interpretación de la mecánica cuántica, existen dos partes del análisis que hemos realizado con anterioridad que nos ayudaran en el presente trabajo a identificar la estructura que juega el mismo papel con respecto a la cognición humana que el papel que juega la materia y el espacio-tiempo con respecto al ámbito de la mecánica cuántica.

La primera parte del análisis se encuentra ya expuesta en publicaciones anteriores (cf. Aerts, 2009b, Aerts, 2010a, 2010b). Se encuentra desarrollada en gran detalle en la sección 4.1 de (Aerts, 2009b) a partir del análisis de las relaciones de incerteza de Heisenberg. Cuanto más abstracto es un concepto humano, menos concreto resulta, y viceversa; esta es la expresión del principio de incerteza de Heisenberg en el caso de los conceptos humanos. Por ejemplo, el concepto de “gato”, sin especificación alguna, resulta un concepto bastante abstracto, mientras que si nos referimos a “ese gato Felix”, y queremos decir con ello “a ese particular y único gato llamado Felix, aquel que puedo tocar y acariciar con mi mano”, entonces esa resulta una forma mucho más concreta del concepto “gato”. Resulta, así, que existen, para cada concepto, estados que corresponden a formas más abstractas del concepto y estados que corresponden a formas más concretas. El principio de incerteza de Heisenberg para los conceptos humanos expresa que un concepto no puede estar en un estado muy concreto y muy abstracto simultáneamente. Se trata de una expresión de la naturaleza ontológica de lo que los conceptos pueden ser en tanto entidades mediadoras. En nuestra nueva interpretación de la teoría cuántica, esa es también la forma en la que el principio de Heisenberg se encuentra explicado para las entidades cuánticas. Una entidad cuántica no puede encontrarse simultáneamente en un estado muy concreto – un estado cercano a en-

contrarse muy localizado – y en un estado muy abstracto – un estado cercano a encontrarse en un estado de momento definido. Aquí, como lo hemos hecho también en muchas otras ocasiones, introduciremos el medio conceptual de la Internet para proponer ejemplos y explicaciones.

Supongamos que hagamos una busca de la palabra “gato”. El 5 de septiembre de 2011, la respuesta fue de 2.330.000.000 resultados, lo cual significa que ese día existían 2.330.000.000 páginas-web con la palabra “gato” en por lo menos una ocasión dentro de cada página-web. En el medio conceptual de la Internet, la combinación total de conceptos contenidos en cada una de esas páginas constituye también un estado del concepto “gato” donde todos los otros conceptos en esa combinación son contextos conceptuales que cambian el estado más abstracto de “gato” al estado más concreto en relación al medio conceptual específico. De ese modo, el contenido conceptual de las páginas-web que contienen la palabra “gato” son los estados más concretos del concepto “gato”, si consideramos la Internet como nuestro contexto conceptual específico. Por supuesto que, cada uno de esos estados de “gato” es también el estado concreto de muchos otros conceptos, a saber, los conceptos que aparecen en el texto relevante de cada una de las páginas-web en las que aparece la palabra ‘cat’. Es en este sentido que si tomamos en cuenta el contexto conceptual en el que se encuentra la Internet, podemos considerar al conjunto de todas las páginas-web, más específicamente su contenido conceptual, como el caso análogo, para los conceptos humanos, del contenido de lo que es el significado de espacio para el caso de las partículas cuánticas. Más concretamente, si una de las páginas-web es elegida y aparece en la pantalla de una computadora y es observada por una persona, esto resulta el análogo para el caso de los conceptos humanos, de aquello que una instantánea del espacio-tiempo y su contenido es – a saber, estados localizados de diferentes entidades cuánticas medidas por un observador – para las partículas cuánticas. El nivel actual de orden y estructura de la colección de páginas-web de la Internet se encuentra lejos de la colección de partículas cuánticas estructurada en entidades espaciales ordinarias o en campos bosónicos, las cuales pueden aparecer como una instantánea de estados localizados en el espacio. Sin embargo, en un nivel fundamental, esa similitud puede ser identificada.

En la mecánica cuántica, el estado-posición de una partícula cuántica localizada es complementario a un estado-momento localizado, o sea, un estado en el que el momento de la partícula se encuentra localizado en el espacio-momento. El principio de incerteza de Heisenberg representa la incompatibilidad de ambos tipos de estados, o sea, para una partícula cuántica no existen estados que se encuentren fuertemente localizados en posición y momento. Cuanto más abstracta resulta la forma de un concepto, más incompatible resultará respecto de una forma concreta del mismo concepto. De ese modo, la colección de todas las formas más abstractas de los conceptos huma-

nos – como, por ejemplo, la colección de las palabras en un diccionario – se corresponden con las instantáneas del “espacio-momento” y su contenido. Esas formas abstractas de los conceptos son el análogo de partículas cuánticas con momento bien determinado, pero casi completamente deslocalizadas respecto de su posición. Tomemos una situación específica para hacer eso más claro. Ahora, consideraremos el contexto conceptual de un conjunto de memorias humanas. El estado más concreto de un concepto es entonces el estado que tiene en esa memoria específica humana, y el contexto en esa situación está definido por todos los aspectos de esta memoria humana. Si dos personas se comunican entre sí hablando, conceptos encadenados son enviados desde una memoria humana hacia la otra, activando en ésta conceptos ya guardados y almacenados previamente en la memoria, cambiando sus estados y excitándolos. La dinámica resultante es aquello que llamamos comunicación entre dos mentes humanas. Cuando las partículas cuánticas emitidas por un pedazo ordinario de materia radiante chocan con otro pedazo de materia, los átomos o moléculas del último pedazo de materia son excitados y, al ser des-excitados, enviarán nuevamente partículas cuánticas que pueden eventualmente ser capturadas por el pedazo de materia desde donde inicialmente fueron enviadas. Esta es una situación típica de interacción entre partículas cuánticas, y también de interacción o comunicación entre materia mediada a través de partículas cuánticas.

La segunda parte del análisis se encuentra relacionada con la diferencia fundamental que existe entre concepto y objeto. Hemos reflexionado al respecto en varios artículos (cf. Aerts, 2010b, sección 5). Para un concepto A y un concepto B , tenemos que “ A o B ” es también un concepto. Sin embargo, si A y B son objetos, entonces “ A o B ” no es un objeto. “Silla o mesa” no es un objeto sino un concepto. Si consideramos ahora el conectivo lógico “y”, no encontramos tal diferencia fundamental entre objeto y concepto, puesto que si A y B son objetos, entonces “ A y B ” resulta también un nuevo objeto. Remarquemos que si A y B son objetos físicos que ocupan un lugar en el espacio tiempo, entonces el objeto “ A y B ” ocupará ambas partes del espacio físico, de ese modo, si consideramos el espacio físico como un conjunto de puntos, ocupará una parte del espacio físico que resulta de la unión conjuntista de las partes del espacio ocupado por A y B . La observación anterior contiene una pista para identificar el equivalente en la cognición humana al espacio físico en las partículas cuánticas.

Si consideramos a la lógica clásica y las combinaciones conceptuales que llamamos “proposiciones” podemos señalar la completa simetría existente entre los conectivos lógicos “y” y “o” en el metalenguaje. La simetría se encuentra reflejada en el modelo conjuntista de la lógica clásica, donde “y” corresponde a la operación de intersección (*meet*) y “o” a la operación de unión (*join*). Pero también en el proceso de formación de conceptos, los conectivos “y” y “o” juegan un papel simétrico. En otra oca-

sión (cf. Aerts, 2009a, sección 4.1), ya consideramos ese proceso de formación, ahora volveremos sobre algunos de los puntos presentados en esa ocasión. A través del proceso de formación conceptual, los dos conectivos, disyunción y conjunción, juegan un papel igualmente importante. Consideremos, por ejemplo, el concepto de “animal”, que puede ser “perro” o puede ser también “gato”, o “caballo” o “conejo” etc. seguidos por una larga lista de todos los animales conocidos. De ese modo, el concepto “animal” resulta un ejemplo típico donde la disyunción ha jugado un rol fundamental en su formación. La conjunción puede jugar un rol igualmente fundamental. Consideramos, por ejemplo, el concepto “perro”. Entonces, las combinaciones conceptuales “tiene cuatro patas” y “le gusta ladrar” y “le gusta nadar” y etc., seguida por una larga lista de características de “perro” juegan un papel esencial en la formación del concepto “perro”. En el ámbito en que son considerados los objetos, el conectivo “o” es eliminado y solo mantenemos el conectivo “y”, que adquirió una relación más directa con la noción de espacio como un teatro en donde los “objetos pueden ocupar un lugar”.

Ambas partes del análisis – la primera parte, conectando la abstracción y la concretitud con el principio de incerteza de Heisenberg y considerando la Internet como un ejemplo de contexto cognitivo donde aquellos estados de conceptos más concretos resultan los contenidos de las páginas-web donde aparecen los conceptos; y la segunda parte, analizando la diferencia fundamental entre los conceptos y los objetos, y cómo los conectivos “y” y “o” se comportan en ese sentido – resultan la guía de las hipótesis que queremos desarrollar en la próxima sección. Esperamos que esta hipótesis nos ubique en un camino que nos permita identificar la equivalencia para la cognición humana de lo que la materia y el espacio-tiempo físico son para las partículas cuánticas.

2 LA PROTO-MATERIA COGNITIVA HUMANA

Para identificar el equivalente del ámbito cognitivo humano de lo que es el espacio-tiempo para la realidad física, necesitamos investigar en primer lugar cual es el equivalente en el ámbito de la cognición humana, de aquello que es la materia ordinaria para la realidad física. En trabajos anteriores referidos a nuestra nueva interpretación de la teoría cuántica, hemos presentado la hipótesis de que la “memoria humana” o un “sistema de memoria artificial capaz de interactuar con semántica humana” es el equivalente en el ámbito humano de aquello que es la materia ordinaria para la realidad física. En el presente artículo, abordaremos esta cuestión de modo más detallado.

Siguiendo la teoría de la cognición humana llamada de “teoría del proceso dual” (cf. Barrett, Tugade & Engle, 2004; Bruner, 1990; Freud, 1899; James, 1910; Kahneman,

2003; Paivio, 2007; Sloman, 1996; Sun, 2002), se distinguen dos tipos de pensamiento. El tipo de pensamiento 1 es en gran medida inconsciente, automático, contextual, emotivo y veloz. El tipo de pensamiento 2 es deliberado, explícito e intencional. Sucede que la mayor parte del comportamiento humano se encuentra articulado por el tipo 1 de pensamientos. En trabajos anteriores, también identificamos dos modos del pensamiento (cf. Aerts & D’Hooghe, 2009) inspirados por la estructura matemática de los esquemas de los modelos cuánticos desarrollados para los conceptos humanos (cf. Aerts, 2009a), y los llamamos “pensamiento conceptual cuántico” y “pensamiento lógico clásico”. Sin duda, existe una correspondencia entre esos dos tipos de pensamiento desde la teoría del proceso dual y los dos modos de pensamiento que introdujimos en otra parte (cf. Aerts & D’Hooghe, 2009). Sin embargo, la correspondencia no es necesariamente un morfismo, puesto que la teoría del proceso dual se sostiene en la evidencia experimental y en las hipótesis teóricas relacionadas a los diferentes aspectos de la cognición humana, nuestra clasificación encuentra su origen en la estructura matemática del esquema del modelo cuántico. Aproximadamente, lo que habíamos llamado pensamiento conceptual cuántico correspondería con el tipo 1 de pensamiento y lo que hemos llamado pensamiento lógico clásico correspondería con el tipo de pensamiento 2. Hemos planeado investigar en profundidad la naturaleza de esa correspondencia en investigaciones futuras; aquí sólo utilizaremos el siguiente aspecto específico del tipo 1 de pensamiento. Cuando un ser humano es confrontado con un estímulo, resulta corriente que el tipo de pensamiento 1 da lugar a una historia o, por lo menos, a un fragmento de ella, de modo tal que los diferentes elementos presentes de ese estímulo “se encuentran de acuerdo con la historia”. Es ese “estar de acuerdo con una historia” de los aspectos del pensamiento humano del tipo 1 que nos interesa particularmente en lo que sigue de esta sección.

Demos un ejemplo de aquello que queremos decir. Supongamos que consideramos un experimento donde el estímulo consiste en las palabras que aparecen en una pantalla mostrada a los participantes de un experimento. Consideremos más específicamente la situación en que el estímulo es la palabra “banco”. Los experimentos muestran que aún en el caso de un estímulo consistente en una sola palabra como puede ser “banco”, el estímulo es suficiente para dar lugar a una historia creada por el participante del experimento de pensamiento de tipo 1. En el caso de la palabra “banco”, la historia debe ser sobre dinero. O puede ser más concreta y contener la imagen de un edificio conocido como banco y una visita a ese edificio. O puede ser sobre una conversación con uno de los trabajadores del banco etc. Hemos elegido la palabra “banco” a propósito, porque contiene varios sentidos. Supongamos que uno de los individuos participando en el experimento es un ferviente pescador, entonces la palabra “banco” puede evocar “el banco en que se sienta comúnmente cuando pesca” dando

lugar a una historia radicalmente diferente. Por ejemplo, “sobre aquello que sucedió la última vez que fue a pescar” etc. Si el estímulo consiste de dos palabras “banco” y “dinero”, es muy probable que la historia contenga la primer referencia al significado de la palabra “banco”, mientras que si el estímulo consiste en las palabras “banco” y “pescar” será más probable que la historia hará referencia al segundo significado de la palabra “banco”. De ese modo, bajo la presencia de un único estímulo consistente en la palabra “banco”, los participantes pueden vacilar por un breve instante entre los diferentes significados y sus diferentes asociaciones. Los experimentos sugieren que un estado de gran ambigüedad evoluciona rápidamente hacia una de las historias bajo el pensamiento de tipo 1. Si consideramos este evento bajo nuestra clasificación del pensamiento conceptual cuántico, podríamos decir que el estado del concepto “banco” colapsa hacia una de las dos historias.

Antes de dar una descripción más específica del equivalente del ámbito cognitivo humano de qué es la materia para la realidad física, queremos hacer una observación específica en la ambigüedad de las historias. Ya hemos señalado que dentro del proceso de pensamiento de tipo 1, en caso de existir una ambigüedad respecto de las historias, las funciones de pensamiento de tipo 1 resuelven esa ambigüedad rápidamente. Eso significa que el conectivo “o”, si expresa la ambigüedad entre dos o más historias que contienen diferentes sentidos del estímulo, es removido por un pensamiento de tipo 1. No hemos hecho explícito todavía que quiere decir “los diferentes significados del estímulo”. Sin embargo, lo que queremos mostrar ahora es que la elección de optimizar la disolución de la ambigüedad, tiene una gran influencia en la naturaleza de las historias como entidades. Veamos eso de modo más claro con un ejemplo. Si consideramos dos historias: la historia A y la historia B , entonces la historia “ A y B ” es también una historia. En un caso extremo, cuando no existe ninguna conexión entre A y B , la nueva historia “ A y B ” no es más que dos historias separadas, lo cual es todavía considerado como una historia, si bien de un tipo extremo. De cualquier modo, en la mayor cantidad de casos, aparecerán conexiones de significación entre A y B , tales que “ A y B ” resulta una nueva historia que excede las historias A y B consideradas por separado. En verdad sería extraño que dos historias A y B no contuviesen ninguna conexión con significado para alguno de los individuos de modo tal que convergiesen espontáneamente hacia una tercera historia “ A y B ”. Para dos historias A y B , la construcción cognitiva “ A o B ” no sería usualmente considerada como una historia. Visto desde un punto de vista puramente conceptual – esto es, si consideramos a una historia como una combinación de conceptos – entonces “ A o B ” resulta nuevamente una combinación de conceptos y, de ese modo, otra vez una historia. Pero, si colocamos el conectivo “o” entre dos historias, si bien en teoría esto da lugar a una nueva historia, esta no será en general considerada como una historia, debido a la ambigüedad introducida de modo

artificial. En ese sentido, tomando en cuenta el significado global de la mente humana involucrada, su reducción no se encuentra optimizada. Volvamos al ejemplo del estímulo “banco”. Es muy posible que ese estímulo de lugar a cierta ambigüedad en la mente de uno de los participantes del experimento, invocando una historia que consiste en “*A o B*” – donde, en la historia *A*, la palabra “banco” se encuentra asociada a la palabra “dinero”, mientras que en la historia *B* se encuentra asociada a la palabra “sentarse”. Pero si tal ambigüedad aparece en la historia “*A o B*”, será considerada “una ambigüedad a ser removida”, y es por eso que “*A o B*” no será considerada una historia.

En muchas ocasiones, hemos tomado la Internet como un posible contexto cognitivo, en primer lugar, porque nos permite tomar datos experimentales utilizando los buscadores (cf. Aerts, 2009b, 2010a, 2010b; 2011, Aerts *et al.*, 2010). Tomaremos el mismo enfoque en este artículo y esta vez las páginas-web jugaran el rol de aquello que hemos llamado historias. Utilizando el buscador Yahoo, mostremos como los diferentes conectivos “y” y “o” juegan diferentes roles en la Internet. El 15 de septiembre de 2011, encontramos para la palabra “y” 1.610.000.000 resultados de Yahoo, mientras que para la palabra “o” se obtuvieron 5.400.000.000 resultados. Eso significa que “o” aparece más a menudo que “y” en la Internet, si bien ambos resultados son del mismo orden de magnitud, y su proporción es de $1.610.000.000/5.400.000.000 = 0,3$.

Luego elegimos dos palabras sin conexión aparente como “carro” y “edificio”. El número de resultados del buscador de Yahoo para “carro y edificio” fue de 8.450 y el número de resultados para “carro o edificio” fue de 7.810 – buscamos, en ese caso, la aparición de expresiones como “carro y edificio” y “carro o edificio”, en su totalidad, es decir considerando el entrecomillado en ambos lados de la expresión. Para comparar las frecuencias de aparición sistemáticamente, introduzcamos:

$$C(\text{carro ... edificio}) = N(\text{carro y edificio}) / N(\text{carro o edificio}) \quad (1)$$

donde $N(\text{carro y edificio})$ es el número de páginas-web conteniendo parte de las frases “carro y edificio” y $N(\text{carro o edificio})$ es el número de páginas-web conteniendo parte de las frases “carro o edificio”. De ese modo, tenemos que

$$C(\text{carro ... edificio}) = 8.450/7.810 = 1,08 \quad (2)$$

Si utilizamos combinaciones que contienen más significado, como “el carro y el edificio”, obtenemos 2.950 resultados, mientras que de “el carro o el edificio” obtenemos 33 resultados, lo cual significa que la proporción ha sido incrementada en 89, puesto que $C(\text{el carro ... el edificio}) = 2.950/33 = 89$.

Expresión	Ocurrencias de “y”	Ocurrencias de “o”	proportion
	1.610.000.000	5.400.000.000	0,3
carro . . . edificio	8.450	7.810	1,1
el carro . . . el edificio	2.950	33	89,4
flauta . . . bajo	11.900	162	73,4
la flauta . . . el bajo	68	1	68
cavallo . . . casa	12.500	4.690	2,6
el cavallo . . . la casa	73	5	14,6
mesa . . . sol	8.900	123	72,4
la mesa . . . el sol	83	3	27,7
ventana . . . puerta	4.090.000	937.000	4,3
la ventana . . . la puerta	9.000	21.900	0,4
la ventana . . . puerta	61.900	22.800	2,7
risa . . . lloro	297.000	779.000	0,4
reír . . . llorar	11.100	11.400	1
reír . . . lloro	31.400	311.000	0,1
muerto . . . vivo	149.000	13.100.000	0,01
estar muerto . . . vivo	3.270	9.010	0,3
se busca muerto . . . vivo	47.100	2.240.000	0,02
café . . . té	2.860.000	3.690.000	0,7
bebe café . . . té	8.580	26.800	0,3
quiere café . . . té	2	92	0,02
querer café . . . té	51	8.230	0,006
leche . . . azúcar	1.510.000	24.600	61,3
quiere leche . . . azúcar	10	4	2,5
querer leche . . . azúcar	141	179	0,8

Tabla 1. Una comparación sistemática entre la frecuencia de aparición de los conectivos “y” y “o”.

Consideremos ahora un segundo ejemplo utilizando dos palabras “flauta” y “bajo”. Tenemos que “flauta y bajo” dan lugar a 11.900 resultados para el buscador de Yahoo, mientras que “flauta o bajo” da lugar a 162 resultados, con lo que la proporción es de 73,4. Si miramos a una parte de la sentencia más larga que incluye a las palabras “flauta” y “bajo”, encontramos para “la flauta y el bajo” 68 resultados, mientras que “la flauta o el bajo” da 1 sólo resultado, de modo que la proporción es de 68. Para el si-

guiente ejemplo consideramos las palabras “caballo” y “casa”. Para la sentencia “caballo y casa” obtenemos 12.500 resultados, mientras que para “caballo o casa” 4.690, lo que da una proporción de 2,6. La frase “el caballo y la casa” da lugar a 73 resultados del buscador, mientras que “el caballo o la casa” da lugar a 5 resultados de modo que la proporción es de 14,6. La tabla 1 presenta diferentes ejemplos de diferentes proporciones y analizaremos los resultados en lo que sigue.

Debemos observar que la Internet resulta todavía demasiado pequeña para considerar la estadística de frases largas. Por ejemplo, la frase “el carro rojo y el edificio alto” arroja 0 resultado, como así también “el carro rojo o el edificio alto”. Sin embargo, predecimos que una vez que la Internet haya crecido lo suficiente para arrojar datos significativos de frases complejas o inclusive párrafos, los conectivos lógicos “y” y “o” serán mayores para la gran mayoría de combinación de conceptos. Sin embargo, si la ocurrencia del conectivo “y” resulta más frecuente que la de “o”, porque sucede entonces que existen tres o cuatro veces más conectivos “o” que conectivos “y”, siendo 5.400.000.000 los resultados para el primero y 1.610.000.000 para el segundo. ¿Puede ser que exista algún tipo de error en cómo el buscador de Yahoo cuenta las páginas? No lo hay, y lo siguiente explica por qué. En efecto, el estado de cosas que detectamos en lo que sigue, y que muestra porque no existe error alguno, nos llevará también a la identificación de la proto-estructura de la materia en el ámbito de los conceptos humanos.

Así, por ejemplo, consideraremos dos palabras “ventana” y “puerta”. Para “ventana y puerta” y para “ventana o puerta”, encontramos 4.090.000 y 937.000 resultados respectivamente, con lo que una proporción de 4,3 todavía resulta de una mayor frecuencia para el conectivo “y” comparado con la del conectivo “o”. Ahora consideremos la frase “la ventana y la puerta” que da 9.000 resultados, mientras que la frase “la ventana o la puerta” da 21.900 resultados. Eso invierte la proporción puesto que la frecuencia del conectivo “o” es mayor a la del conectivo “y”. Siendo la proporción de “y” a “o” de 0,4, tratemos de entender ese fenómeno mirando algunas páginas-web específicas que aparecen en el buscador de Yahoo. Por ejemplo, si buscamos la frase “la ventana o la puerta”, encontramos páginas-web donde aparece la frase “Prefiere usted que su cama mire hacia la ventana o a la puerta dentro del cuarto?”, también “Resulta sencillo montarlo con cinta adhesiva sobre la ventana o la puerta”, y también “Pero Holmes considera su propia capacidad para rápidamente adaptar y revisar su propia teoría, una vez que estaba personalmente convencido de que ningún peligro podía entrar en la habitación por la ventana o la puerta”. Cuando buscamos en las primeras páginas-web que contenían la frase “la ventana y la puerta”, encontramos en todas ellas la frase “Escondido entre la ventana y la puerta”, seguidas por varias páginas-web que contenían la frase “Cierra la ventana y la puerta”. La inversión de la proporción significa que la parte de la frase “la ventana o la puerta” es más frecuente en la estructura

semántica de la cognición humana que la pieza de frase “la ventana y la puerta”. Existe otro elemento que debemos señalar. Consideremos la parte del texto “la ventana y puerta”, para la cual el buscador de Yahoo da 61.900 resultados contra los 22.800 resultados para “la ventana o puerta”. Eso significa que para esas partes similares del texto la proporción entre “y” y “o” se encuentra otra vez normalizada, es decir, 2,7. En pocas palabras, es para las partes del texto “la ventana y la puerta” y “la ventana o la puerta” en que la inversión aparece.

Examinemos otro ejemplo para entender mejor ese fenómeno. Consideremos las dos palabras “reír” y “llorar”. Para las partes del texto “risa y lloro” y “risa o lloro”, encontramos 297.000 y 779.000 resultados de Yahoo, respectivamente, lo que significa otra vez una inversión del mismo orden de magnitud respecto de la que identificamos para “ventana” y “puerta”, o sea, 0,4. Luego consideremos las partes del texto “reír y llorar”, lo cual dio 11.100 resultados, y “reír o llorar” dando 11.400 resultados, o sea, una proporción aproximadamente igual a 1. Eso significa que la inversión otra vez desaparece. Finalmente, consideremos las frases “reír y lloro”, que dio 31.400 resultados, y “reír o lloro” que dio 311.000 resultados para el buscador de Yahoo, dando una proporción de 0,1, lo cual indica una fuerte supremacía del conectivos “o” sobre el conectivo “y” para esa parte de la frase.

De ese modo, en el caso de “ventana” y “puerta”, es la frase “la ventana o la puerta” la que introduce un fuerte peso respecto de la aparición de una ambigüedad que refiere al conectivo “o”, mientras que, en el caso de “risa” y “lloro”, es la parte específica de “risa o lloro” la que introduce un fuerte peso relativo respecto de la ambigüedad introducida por el conectivo “o”.

Consideremos ahora un tercer ejemplo que combina los sustantivos “muerto” y “vivo” usando los conectivos “y” y “o”. Las combinaciones son “muerto y vivo”, con 149.000 resultados, y “muerto o vivo”, con 13.100.000 resultados, dando de ese modo una proporción de 0,01, que es un décimo de lo que encontramos antes. Aquí la inversión es enorme. Para “estar muerto y vivo”, encontramos 3.270 resultados, y para “estar muerto o vivo”, encontramos 9.010 resultados. Eso significa que el efecto de la inversión ha casi desaparecido, cuando la combinación de los conceptos “muerto o vivo” es incluida con el concepto “estar” delante, la proporción es de 0,3. Pero si consideramos “se busca muerto y vivo”, con 47.100 resultados, y “se busca muerto o vivo”, con 2.240.000, la proporción es de 0,02, que resulta del mismo orden de magnitud de la expresión.

El próximo ejemplo concierne a las palabras “café” y “té”. Para “café y té”, encontramos 2.860.000 resultados, y para “café o té”, hemos encontrado 3.690.000 resultados, a saber, una proporción de 0,7. Sin embargo, cuando ponemos la palabra “bebe” delante, el cambio es sustancial. Encontramos que “beber café y té” da 8.580

resultados, contra 26.800 resultados para “beber café o té”, lo cual da una proporción de 0,3. Luego tentamos varias combinaciones más. Entramos “quiere café y té”, que dio 2 resultados, y “quiere café o té”, que da 92 resultados, es decir, una proporción de 0,02, que es del mismo orden de magnitud que encontramos para “muerto y vivo”. También entramos “querer café y té”, con 51 resultados, y “querer café o té”, con 8.230 resultados, una proporción de 0,006, la relación más pequeña que hemos encontrado hasta ahora.

Nuestro ejemplo final considera a las palabras “leche” y “azúcar”. Para “leche y azúcar”, encontramos 1.510.000 resultados, y para “leche o azúcar”, encontramos 24.600 resultados, o sea, una proporción de 61,3, del mismo orden de magnitud que las mayores proporciones encontradas hasta el momento. Además, buscamos “quiere leche y azúcar”, con 10 resultados, y “quiere leche o azúcar” con 4 resultados, es decir, una proporción de 2,5. Para “querer leche y azúcar”, el número de resultados fue de 141, y para “querer leche o azúcar”, el número de resultados fue de 179, es decir una proporción de 0,8.

Cuando combinamos los dos conceptos que hemos elegido más o menos al azar, tales como “carro y edificio”, “flauta y bajo”, “caballo y casa” y “mesa y sol”, el buscador de Yahoo en la Internet para las palabras “carro” y “edificio”, “flauta” y “bajo”, “caballo” y “casa” y “mesa” y “sol”, indica que las combinaciones con los conectivos lógicos “y” entre esos conceptos son más comunes que cuando se las combina a partir del conectivo “o”. El conectivo “o” introduce una abstracción y, tomando nuestra identificación del principio de Heisenberg relacionado con la abstracción y la concretización (cf. Aerts, 2009b, sección 4.1), eso significa que en donde el conectivo “o” es sustituido entre dos conceptos (cf. Aerts, 2009b), se forma un estado de superposición que se encuentra menos localizado que los dos estados que lo componen. Por el contrario, en general, el conectivo “y” introduce una concretización. Eso significa que cuando el conectivo “y” es sustituido entre dos conceptos, se forma un estado puro más localizado. Nuestra experimentación con la Internet muestra que, para conceptos elegidos arbitrariamente, cuanto más larga resulta la combinación, más común es el conectivo “y” comparado con el conectivo “o”, lo que indica la tendencia general hacia la localización de textos a ser encontrados en las páginas-web de la Internet.

Ese proceso hacia la localización detiene por definición a los productos cognitivos finales, que son las páginas-web concretas contenidas en la Internet. Si tomamos la Internet como sistema de entorno cognitivo, son esas páginas concretas los equivalentes para la cognición humana de lo que es la materia ordinaria para la realidad física. Dentro de una visión clásica en la realidad física, se cree que la materia llena el espacio-tiempo, dando lugar a objetos. En artículos anteriores (cf. Aerts, 2009b, sección 4.3), ya analizamos por qué esa visión clásica es el límite de un proceso hacia la objeti-

vación, donde, sin embargo, el estado del objeto como tal, nunca se alcanza. La noción de objeto es sólo una noción idealizada que juega un papel importante en la teoría idealizada de la física clásica. Eso se ve confirmado por la materia física ordinaria, que nunca se encuentra realmente localizada, ya que contiene átomos y moléculas, y dentro de esas partículas existen subestructuras en estados de superposición. En el ámbito de la cognición humana, nos encontramos en una situación similar. El conectivo “o”, dando lugar a estados no localizados, aparece constantemente en grandes cantidades en forma de pequeñas “moléculas de significado” en las páginas-web de la Internet. Los ejemplos que hemos identificado son “la ventana o la puerta”, “reír o llorar”, “muerto o vivo” y “café o té”. Esos son los equivalentes para el reino humano cognitiva de lo que las moléculas y los átomos son para la materia ordinaria de la realidad física.

Existe otro punto que nos interesa remarcar. A primera vista, parecería ser que las moléculas del significado del ámbito cognitivo humano son inmóviles, como si nada se moviera dentro de ellas, en contraste aparente con la naturaleza dinámica de las moléculas y átomos de la materia ordinaria, con electrones moviéndose en orbitas alrededor del núcleo hecho de protones y neutrones. Primero que nada, la idea de “los electrones moviéndose alrededor del núcleo”, algo como un sistema solar en miniatura, es una imagen que sabemos se encuentra muy errada. Es una imagen que, otra vez, se encuentra forzada sobre nosotros debido a que las partículas cuánticas son presentadas como pequeñas balas de ping pong volando y chocando (cf. Aerts, 2010b). La mayor parte de los libros de texto sobre mecánica cuántica señala explícitamente que la idea de un sistema solar en miniatura es incorrecta, puesto que los electrones “se mueven en una nube alrededor del núcleo”. Si bien eso supone rectificar el error de pensar a las partículas cuánticas, la imagen resultante es igualmente errónea. No existe nada moviéndose dentro de una molécula o átomo. Un paso hacia una mejor definición sería decir que “los electrones se encuentran en una nube alrededor del núcleo”, y que “esa nube cambia con el paso del tiempo”. Por supuesto, esa expresión “con el paso del tiempo” también debería ser considerada atentamente. Significa “con el paso del tiempo cuando se mide en el laboratorio donde son realizados experimentos con moléculas y átomos”. Con respecto a ese tiempo, la nube de la presencia de electrones cambia. Y aun eso no es correcto. No es una “nube de presencia”, pero “una nube de presencia potencial”. Y si agregamos la palabra “potencial”, la palabra “nube” no es ya correcta. En pocas palabras, la siguiente frase sería mucho más cercana a ser correcta, “los electrones se encuentran en estados presenciales potenciales, y esa presencia – que no es actualizada en general – se encuentra alrededor del núcleo”. Y es la potencialidad la que cambia con paso del tiempo en el laboratorio. Consideremos la molécula de cognición humana, “café o té”. La situación típica que podemos imaginarnos con respecto a esa molécula de cognición humana es la siguiente. En una recepción de una

fiesta se sirven café y té. A uno de los invitados de la fiesta se le presenta una bandeja con tazas de café y té calientes. La persona que sostiene la bandeja dice las palabras “café o té”. Concentrémonos ahora en la mente del invitado, a quien le gustan ambas bebidas ofrecidas. Antes de hacer una elección es posible que el invitado vea pasar por sus ojos las diferentes alternativas. Literalmente, eso significa que las potencialidades con respecto a la elección entre café o té se encuentran cambiando mientras pasa el tiempo. Ese “cambio de alternativas potenciales entre café o té” es el equivalente, para el ámbito cognitivo humano, del cambio que toma lugar en una molécula en la realidad física. Uno de los objetivos de investigación de nuestro grupo en Bruselas es trabajar en un modelo concreto para eso, pero debido a que nos encontramos trabajando en otros objetivos también fascinantes, no hemos tenido todavía la oportunidad de hacer esto de modo explícito. Sin embargo, hace una década, logramos elaborar un modelo de cambio dentro del ámbito cognitivo humano, más específicamente con el problema de la paradoja del mentiroso (cf. Aerts, Broekaert & Smets, 1999a, 1999b) y el modelo dinámico utilizado para discutir la paradoja del mentiroso puede ser utilizado para realizar una descripción dinámica de la molécula cognitiva “café y té”. Algo de esa naturaleza fue realizado, por ejemplo, para el dilema del prisionero por Jerome Busemeyer y sus colaboradores (cf. Busemeyer, Wang & Townsend, 2006; Busemeyer *et al.*, 2011; Pothos & Busemeyer, 2009).

3 LA REALIDAD DE LA COGNICIÓN HUMANA Y EL ESPACIO-TIEMPO FÍSICO

El espacio-tiempo físico es el “teatro de la materia ordinaria”. Más específicamente, es el lugar y tiempo en donde se sitúan las instantáneas de la materia ordinaria que interactúan con partículas cuánticas. De ese modo, el equivalente del espacio-tiempo físico para el ámbito del conocimiento humano es el “teatro de las historias”. Resulta interesante considerar que la palabra española “historia” y la palabra griega “ἱστορία” son derivadas de su raíz proto-indo-europea “weid”. Esa raíz a dado lugar a las siguientes derivaciones en diferentes lenguajes.

Inglés: “ywis”, “iwis”, “wise”, “wisdom”, “witan”, “wite”.

Francés: “guise”.

Griego: “eidos”, “Haidēs”, “histor”.

Irlandés: “find”.

Latino: “videre”.

Provenzal: “guidar”.

Sánscrito: “vedah”.

Ahora bien, volviendo sobre lo anterior, ¿cómo y dónde pueden situarse las historias? Una vez más, el ejemplo de la Internet puede ayudarnos a comprender mejor la estructura aparente, si identificamos las historias como el equivalente de la cognición humana con la materia ordinaria para la realidad física. Si consideramos cada página-web, o su interconexión, como una historia, la colección de todas las historias es entonces la colección de todas las páginas-web, que es la Internet. ¿Podemos identificar la estructura del espacio-tiempo conectada con la Internet? Resulta bastante obvio que ninguna estructura espacio-temporal muy similar al espacio-tiempo físico puede ser identificada con la Internet. Pero entonces no hay necesidad para ello, puesto que como hemos mencionado con anterioridad, esperamos que las estructuras conectadas al ámbito cognitivo humano son mucho más complejas que las estructuras equivalentes presentes en el ámbito cuántico. Existe todo un cuerpo de investigación científica que resulta muy valioso para considerar semejante pregunta, aún antes de la existencia de la Internet. Los científicos han investigado de modo detallado la estructura de un gran número de textos, y propuesto modelos matemáticos para ellos llamados “espacios semánticos”. La base de esos enfoques es la llamada “matriz documento-término”, que contiene la cantidad de veces que un término se repite en un cierto documento. Supongamos que numeramos las filas de la matriz por medio de los documentos y las columnas por los términos, entonces cada fila de la matriz puede ser estudiada como un vector que representa al documento considerado, mientras que cada columna como un vector representando el término correspondiente. Si los vectores se encuentran normalizados, el producto escalar entre esos vectores normalizados es una medida de la similitud de los correspondientes documentos y términos considerado. Eso también es usado de igual manera en teorías de recuperación de la información y análisis semántico. En el espacio vectorial de los vectores que representan términos específicos, los documentos se encuentran representados por la base canónica de ese espacio vectorial; lo que significa que también puede ser calculada la similitud entre términos y documentos a partir de los productos escalares entre los vectores correspondientes. Así, los documentos pueden ser comparados con términos de búsqueda y los documentos más relevantes pueden ser considerados como los más parecidos. Así es como hoy en día funciona la mayor parte de los buscadores de la Internet, si bien en la práctica existen muchas variaciones del enfoque básico.

Los modelos de espacios vectoriales para el análisis de la recuperación de la información fueron introducidos por primera vez por Salton, Wong y Yang (2009). Ejemplos recientes para tales enfoques son *Latent Semantic Analysis* (LSA) (Deerwester *et al.*, 1990), *Hyperspace Analogue to Language* (HAL) (cf. Lund & Burgess, 1996), *Probabilistic Latent Semantic Analysis* (PLSA) (cf. Hofmann, 1999), *Latent Dirichlet Allocation* (cf. Blei, Ng & Jordan, 2003), y el *Word Association Space* (WAS) (cf. Griths & Steyvers, 2002).

Las posibles conexiones con las estructuras cuánticas han sido investigadas desde diferentes perspectivas dentro del nuevo dominio de investigación llamado de “cognición cuántica” (cf. Aerts & Czachor, 2004; Arafat & van Rijsbergen, 2007; Van Rijsbergen, 2004; Widdows, 2003, 2006, 2008, 2009; Widdows & Peters 2003).

Veamos de modo más detenido el LSA (cf. Deerwester *et al.*, 1990), para el cual ya hemos analizado las correspondencias con la física cuántica (cf. Aerts & Czachor, 2004). LSA introduce explícitamente una disminución del rango de la matriz documento-término al considerar la descomposición en valores singulares de esa matriz y sustituyendo algunos de los valores singulares más pequeños por cero. Una de las razones para introducir esa técnica de disminución del rango es transformar una matriz dispersa de un muy alto rango en una matriz menos dispersa de menor alto rango, lo cual hace más fácil la manipulación desde un punto de vista matemático. También está el efecto de disminuir el ruido, puesto que la matriz documento-término original puede contener ruido debido a la presencia de términos anecdóticos. Sin embargo, existen aspectos más sutiles que son de gran interés para nuestro análisis. Si algunos de los valores singulares más bajos son sustituidos por cero, y calculamos la nueva matriz documento-término aproximada, podemos mostrar que en aquellos lugares en que la matriz documento-término original contenía ceros – debido a que los términos no aparecían en el documento –, tendrá ahora números diferentes a cero. Eso significa que la nueva matriz documento-término revela las conexiones “latentes” entre los documentos y los términos. Aún cuando uno de los términos no aparece en un documento específico, pero aparece en muchos documentos similares a ese documento, la matriz contendrá un número diferente a cero, que expresa que, aunque el término no aparece en el documento, es relevante para el documento.

Otro aspecto es que los términos de la matriz cuadrada que aparecen después de la descomposición de valor singular puede interpretarse como “dimensiones conceptuales”. Esos términos corresponden efectivamente de alguna manera a “las direcciones de las relaciones fuertes entre los términos y documentos”, y si expresamos esas direcciones conceptualmente, pueden ser interpretadas como “dimensiones conceptuales”. El análisis de pequeñas muestras, utilizando la técnica de LSA, puede producir números elevados de esas dimensiones. Esa es una expresión de lo que ya se ha mencionado antes, es decir, que el ámbito del conocimiento humano es todavía mucho menos organizado que el de la realidad física, donde las partículas cuánticas interactúan con la materia ordinaria. Para ese ámbito de la realidad física, tres dimensiones espaciales han demostrado ser capaces de captar toda la estructura, por lo menos al nivel macroscópico.

Hasta la fecha, el LSA ha demostrado ser uno de los formalismos de análisis semánticos más potentes. Los procedimientos son totalmente automáticos y permiten

analizar textos por medio de computadoras sin ningún tipo de entendimiento humano. El LSA ha producido resultados verdaderamente impresionantes sobre todo en experimentos con simulación de la actuación humana. Las maquinas programadas con LSA fueron capaces de pasar exámenes de opción múltiple, tales como una Prueba de Inglés de Lengua Extranjera (TOEFL), después de haberse formado en inglés general (cf. Landauer & Dumais, 1997) o, después de aprender de un libro de texto de introducción a la psicología, dar un examen final para estudiantes de Psicología (cf. Landauer, Foltz & Laham, 1998). El LSA ciertamente debe mucho de su potencial a la capacidad de calcular la similitud entre un término y un documento sin la necesidad de que el término aparezca en el documento. La técnica matemática penetra en la estructura de significado que está en el origen de los textos que se encuentran en los documentos, siendo estas sólo instantáneas de esa estructura de significado. Mediante la introducción de un ingrediente matemático no operacional se reduce la dimensión por medio de la descomposición del valor singular dejando de lado los valores singulares más bajos. De ese modo el enfoque de LSA es capaz de introducir una descripción matemática que resulta un mejor modelo de la estructura de significado subyacente.

Dado que la Internet es una gran colección de textos, los enfoques espacio-semánticos también pueden ser aplicados directamente a ella, eso es exactamente lo que hacen los buscadores. Si las palabras se escriben en un buscador, las páginas de la Internet que son más cercanas a esas palabras se reúnen y se presentan a la persona que está haciendo la búsqueda. La noción de “más cerca” se calcula dependiendo del tipo de espacio semántico tomado como base del buscador y, posiblemente, a partir de otros aspectos de relevancia. De todos modos, el término “más cerca” y, por lo tanto, también los términos “cerca”, “menos cerca”, “más lejos”, “muy lejos” y “lejano” son estimaciones que se pueden calcular numéricamente dentro de un modelo espacio-semántico de la Internet, ellos siempre están vinculados a una significación. Es posible definir directamente en la Internet (cf. Aerts, 2011) un enlace de significado e identificar los aspectos de la combinación de conceptos, tales como el “efecto *guppy*” mediante el uso de ese enlace de significado (cf. Aerts *et al.*, 2010).

Incluso, menos de lo que es el caso de la Internet u otros grandes cuerpos de texto, la colección de historias humanas como proto-materia de la cognición humana tendrá una estructura semántica fácilmente identificable, aunque algunos de los problemas encontrados en la Internet u otros grandes cuerpos de texto no son, o por al menos, menos, presentes en la colección de historias humanas. Por ejemplo, a diferencia de las mentes humanas, los buscadores tienen que trabajar con palabras y no pueden trabajar directamente con conceptos. De cualquier modo, una historia es diferente de una colección de palabras puesto que también es una entidad conceptual. Por lo tanto, para desarrollar la estructura matemática de la cognición humana, es po-

sible centrarse en conceptos en lugar de palabras, y en las entidades conceptuales que constituyen las historias, más que en el conjunto de palabras que constituyen una página-web. A pesar de que es un problema muy importante y fascinante encontrar cual es la topología y/o la estructura métrica de significado en el ámbito de la cognición humana más adecuada, por lo tanto, como los conceptos y las historias pueden ser representados matemáticamente de tal manera que sus conexiones intrínsecas se representan. En la siguiente parte de esta sección queremos centrarnos en las perspectivas globales de la realidad física que podemos inferir de nuestra identificación del equivalente para la cognición humana de lo que la materia ordinaria es para el espacio físico.

En efecto, independientemente de las estructuras topológicas y/o métricas, los elementos estructurales se pueden identificar en un nivel más profundo. Consideremos de nuevo la Internet como ejemplo de trabajo y el análisis operacional que hemos elaborado para el espacio-tiempo y la relatividad en un trabajo anterior (cf. Aerts, 1996a, 1996b, 1999). Ese análisis distingue cuidadosamente los diferentes elementos en que se basa la realidad del espacio-tiempo, teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos a través de la teoría cuántica operacional elaborada en Ginebra y Bruselas (cf. Piron, 1976, 1990; Aerts, 1982, 1983), y, por lo tanto, introduce explícitamente el papel del efecto de medición y el aspecto de construcción de elementos de la realidad también en la teoría de la relatividad. Los principales elementos de ese análisis operacional son los siguientes. Consideremos la siguiente situación. Un observador O_1 tiene una experiencia específica e_1 , la cual es catalogada como una experiencia presente en un instante particular de tiempo medido por un reloj al cual llamamos t_1 . Esa experiencia presente contiene para ese observador solo una parte de la realidad que existe en el momento t_1 . ¿Cómo podemos saber de un modo operacional cual es el resto de la realidad existente en el momento t_1 para el observador O_1 ? Proponemos el siguiente procedimiento operacional tomado del enfoque de Ginebra. En algún momento en el pasado del observador, él o ella pudieron haber hecho que su experiencia presente fuese otra, es decir, una experiencia e_1' en lugar de una experiencia e_1 . También la parte de realidad contenida en la experiencia e_1' existe para el observador en el instante t_1 . En otro instante de tiempo del pasado del observador, otra decisión pudo haber ocasionado que la experiencia en t_1 fuese e_1'' en lugar de e_1' o e_1 . También la realidad contenida en esa tercera experiencia potencial e_1'' existe en el tiempo t_1 para el observador. De ese modo, si llamamos a E el conjunto de todas las experiencias potenciales que el observador pudo haber tenido en el instante t_1 – en función de las decisiones que pudo haber tenido en el pasado –, entonces la realidad contenida en cada una de esas experiencias existe en t_1 para el observador O_1 . En otro lugar (cf. Aerts, 1996a, 1996b), mostramos que, si la teoría de la relatividad es interpretada geoméricamente – a saber, que los efectos de contracción de longitudes y de dilatación del tiempo calculados

por la teoría son cambios reales en el espacio-tiempo y no efectos físicos en varas y relojes –, los eventos futuros en algún sistema de referencia se encuentran contenidos en la realidad presente al tiempo t_1 del observador O_1 , el cual consideramos antes. La razón es que el observador que consideramos podría haber elegido en el pasado viajar a velocidades cercanas a la de la luz y de ese modo, a su retorno, el tiempo en la Tierra podría haber cambiado de aquel marcado por el reloj del observador. Eso significa que, en el tiempo t_1 , los eventos futuros en la Tierra son reales para el observador. Por ende, la realidad es tetra-dimensional, conteniendo, junto con las tres dimensiones del espacio, una dimensión que alcanza el futuro de ese modo específico. Analizamos esa situación en detalle (cf. Aerts, 1996a, 1996b). Si bien que el análisis presentado en trabajos anteriores prueba que no existe una paradoja, todavía es una situación difícil de considerar. Mostraremos ahora que nuestra nueva interpretación de la mecánica cuántica también presenta una nueva perspectiva sobre esas cuestiones.

Consideremos una vez más la Internet como un medio cognitivo del ámbito cognitivo humano y la estructura de tiempo-realidad que emerge. Observar consiste ahora en elegir y leer una página-web de la Internet. Consideremos ahora un observador O_1 . Empezamos por considerar la experiencia e_1 que toma lugar en el tiempo t_1 (en el reloj del observador), consistente en elegir el sitio w_1 y leerlo. La realidad contenida en esa experiencia presente es la página-web w_1 , más específicamente el contenido de significado de la página-web w_1 . Pero en el pasado del observador, él o ella podrían haber realizado otra elección, de modo tal que en el tiempo t_1 se podría haber elegido una página w_1' diferente y, al mismo tiempo, hubiera tenido lugar una experiencia e_1' , que consiste en elegir la página-web w_1' y leerla. Eso significa que el contenido de la página-web w_1' es parte de la realidad del observador O_1 en el instante t_1 . La misma línea de razonamiento puede seguirse para todas las páginas-web que pueden ser elegidas y consultadas por un observador. Hagamos la hipótesis que todas las páginas-web pueden ser elegidas por un observador. Entonces, como consecuencia, el contenido semántico de la colección de todas las páginas-web existentes es la realidad en el tiempo t_1 para ese observador O_1 . Puesto que él o ella pueden elegir cualquiera de las páginas-web existentes, esa conclusión se corresponde bastante bien con lo que crearíamos intuitivamente es la realidad semántica en el tiempo t_1 del observador O_1 . Consideremos un segundo observador O_2 . Para el primer observador O_1 , el contenido semántico de todas las páginas-web es real en el instante t_1 , puesto que él o ella podrían elegir cualquiera de los contenidos y experimentarlos en el instante t_1 . Para un segundo observador O_2 , podemos seguir la línea de razonamiento equivalente y, de ese modo, como consecuencia, el contenido semántico de las páginas-web es real en el tiempo t_2 para ese observador – donde t_2 es un tiempo medido en el reloj del segundo observador. Eso significa que, para ambos observadores O_1 y O_2 , la realidad se encuen-

tra dada por todo el contenido semántico de la Internet en cualquier momento de tiempo (en sus respectivos relojes). En cualquier momento en que realizan un acto que vuelve parte de ese contenido semántico global parte de su experiencia presente, elijen una parcela de realidad lugar-tiempo y las historias contenidas en ella en el ámbito cognitivo humano.

Por “lugar-tiempo” queremos decir “lugar semántico”. El lugar semántico se encuentra definido por una teoría semántica, por ejemplo, por uno de los espacios semánticos que mencionamos en la sección anterior. Utilicemos ahora la intuición encontrada en lo anterior a la realidad física y al espacio-tiempo físico. De ese modo, comenzamos desde la hipótesis básica de nuestra nueva interpretación de la mecánica cuántica, a saber, que el ámbito de la realidad física de materia ordinaria interactuando con partículas cuánticas es un estado de cosas similar al que existe en un proceso de comunicación conceptual. Si esa hipótesis es verdadera, el rol que juega el observador en nuestro análisis dentro del ámbito de la cognición humana es jugado ahora por pedazos de materia ordinaria dentro del ámbito de la realidad física. Esos pedazos de materia se comunican entre sí a través de las partículas cuánticas. En el curso de los procesos de comunicación, los lugares-tiempos son elegidos. Por supuesto, dado que nuestro cuerpo humano es en si mismo un pedazo de materia, participa con esos procesos en cualquier caso en que nosotros, como humanos y como entidades físicas, nos confrontamos con esos procesos de comunicación entre pedazos de materia a través de partículas cuánticas. Para evitar confusiones, debería notarse que aquí no participamos con nuestra mente humana en el ámbito del conocimiento humano. O, de nuevo, nosotros no hablamos con esas entidades materiales. Si bien las vemos, o sea, participamos en esos procesos a través de fotones, no hablamos con ellos. Ese es el motivo de porque, para nuestra mente humana, la cual es una entidad interaccionando en el ámbito del conocimiento humano, esa comunicación que aparece en el ámbito físico es interpretada como la experiencia de instantáneas de espacio-tiempo llenada con objetos de materia. Esa es una interpretación errónea. Pegamos de modo imaginario todas estas instantáneas de espacio-tiempo a un continuo de espacio-tiempo y nos imaginamos esa situación como si los pedazos de materia se estuviesen moviendo alrededor en ese espacio-tiempo continuo como objetos materiales. Esa interpretación errónea fue originada en la mecánica clásica y no fue sino hasta el advenimiento de la teoría cuántica que el error pudo ser entendido. Debemos remarcar que los efectos relativistas, tales como la dilatación del tiempo, pueden ser explicados naturalmente por el análisis desarrollado en este artículo. De hecho, no hay espacio-tiempo lleno de objetos constituidos de materia. Por el contrario, se trata de materia interactuando con otra materia a través de las partículas cuánticas que una y otra vez, localmente, dan lugar a una parcela de lugar-tiempo, es decir, una instantánea de espacio-tiempo. De igual

modo – para volver a la esfera de la cognición humana – la página-web elegida en un momento determinado da lugar a una parcela lugar-tiempo, esta vez en el espacio semántico, donde la interacción semántica puede ser localizada. La razón de que las instantáneas de espacio-tiempo generadas localmente se disponen juntas para formar un espacio-tiempo continuo y suave para la realidad global es debida a que todas esas instantáneas locales se encuentran de hecho fundidas en una sola realidad, que, sin embargo, no está dentro del espacio-tiempo. Una vez más, podemos entender ese fenómeno comparándolo con lo que ocurre en el ámbito cognitivo humano. Todas las páginas-web elegidas localmente se ubican de tal manera que pueden ser vistas como la formación de un cuerpo global de texto, ya que todos ellos se basan en una sola realidad, a saber, la realidad del conocimiento humano global.☉

Traducido del original en inglés por Christian de Ronde.

Diederik AERTS

Investigador del
Director del Center Leo Apostel (CLEA),
Foundations of the Exact Sciences (FUND),
Vrije Universiteit Brussel, Bélgica
diraerts@vub.ac.be

The quantum mechanics and conceptuality: matter, histories, semantics, and space-time

ABSTRACT

We elaborate the new interpretation of quantum theory that we recently proposed, according to which quantum particles are considered conceptual entities mediating between pieces of ordinary matter which are considered to act as memory structures for them. Our aim is to identify what is the equivalent for the human cognitive realm of what physical space-time is for the realm of quantum particles and ordinary matter. For this purpose, we identify the notion of ‘story’ as the equivalent within the human cognitive realm of what ordinary matter is in the physical quantum realm, and analyze the role played by the logical connectives of disjunction and conjunction with respect to the notion of locality. Similarly to what we have done in earlier investigations on this new interpretation of quantum theory, we use the specific cognitive environment of the Internet to elucidate the comparisons we make between the human cognitive realm and the physical quantum realm.

KEYWORDS • Quantum logic. Improper mixtures. Convex sets.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTEMOV, S. et al. (Ed.). *We will show them: essays in honour of Dob Gabbay*. London: College Publications, 2005.
- AERTS, D. Description of many physical entities without the paradoxes encountered in quantum mechanics. *Foundations of Physics*, 12, p. 1131-70, 1982.
- . Classical-theories and non-classical theories as a special case of a more general theory. *Mathematical Physics*, 24, p. 2441-53, 1983.
- . Framework for possible unification of quantum and relativity theories. *International Journal of Theoretical Physics*, 35, p. 2399-416, 1996a.
- . Relativity theory: what is reality? *Foundations of Physics*, 26, p. 1627-44, 1996b.
- . The stuff the world is made of: physics and reality. In: AERTS, D. et al. (Ed.). *Einstein meets Magritte: an interdisciplinary reflection*. Dordrecht: Springer, 1999. p. 129-83.
- . Being and change: foundations of a realistic operational formalism. In: AERTS, D. et al. (Ed.). *Probing the structure of quantum mechanics: nonlinearity, nonlocality, probability and axiomatics*. Singapore: World Scientific, 2002. p. 71-110.
- . Quantum structure in cognition. *Journal of Mathematical Psychology*, 53, p. 314-48, 2009a.
- . Quantum particles as conceptual entities: a possible explanatory framework for quantum theory. *Foundations of Science*, 14, p. 361-411, 2009b.
- . Interpreting quantum particles as conceptual entities. *International Journal of Theoretical Physics*, 49, p. 2950-70, 2010a.
- . A potentiality and conceptuality interpretation of quantum physics. *Philosophica*, 83, p. 15-52, 2010b.
- . Measuring meaning on the world-wide web. In: AERTS, D. et al. (Ed.). *Worldviews, science and us: bridging knowledge and its implications for our perspectives of the world*. Singapore: World Scientific, 2011.
- AERTS, D. & AERTS, S. Applications of quantum statistics in psychological studies of decision processes. *Foundations of Science*, 1, p. 85-97, 1985.
- AERTS, D.; AERTS, S. & GABORA, L. Experimental evidence for quantum structure in cognition. In: BRUZA, P. D. et al. (Ed.). *Proceedings of QI 2009-Third International Symposium on Quantum Interaction, book series: lecture notes in computer science, 5494*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009. p. 59-70.
- AERTS, D.; BROEKAERT, J. & SMETS, S. The liar paradox in a quantum mechanical perspective. *Foundations of Science*, 4, p. 115-32, 1999a.
- . A quantum structure description of the liar paradox. *International Journal of Theoretical Physics*, 38, p. 3231-9, 1999b.
- AERTS, D. & D'HOOGHE, B. Classical logical versus quantum conceptual thought: examples in economics, decision theory and concept theory. In: BRUZA, P. D. et al. (Ed.). *Proceedings of QI 2009-Third International Symposium on Quantum Interaction, book series: lecture notes in computer science, 5494*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009. p. 128-42.
- AERTS, D. & CZACHOR, M. Quantum aspects of semantic analysis and symbolic artificial intelligence. *Journal of Physics A-Mathematical and General*, 37, L123-32, 2004.
- AERTS, D. et al. The pet-fish problem on the world-wide web. In: BRUZA, P. D. et al. (Ed.). *Proceedings of the AAAI Fall Symposium (FS-10-08), quantum informatics for cognitive, social, and semantic processes*. California: Menlo Park, 2010. p. 17-21.
- AERTS, D. & GABORA, L. A theory of concepts and their combinations I: the structure of the sets of contexts and properties. *Kybernetes*, 34, p. 167-91, 2005a.
- . A theory of concepts and their combinations II: a Hilbert space representation. *Kybernetes*, 34, p. 192-221, 2005b.

- AERTS, D. et al. Quantum structure in cognition: fundamentals and applications. In: Privman, V. & Ovchinnikov (Ed.). *Proceedings of the fifth international conference on quantum, nano and micro technologies*. Nice: s.n., 2011. p. 57-62.
- AERTS, D. et al. (Ed.). *Einstein meets Magritte: an interdisciplinary reflection*. Dordrecht: Springer, 1999.
- _____. *Probing the structure of quantum mechanics: nonlinearity, nonlocality, probability and axiomatics*. Singapore: World Scientific, 2002.
- _____. *Worldviews, science and us: bridging knowledge and its implications for our perspectives of the world*. Singapore: World Scientific, 2011.
- ARAFAT, S. & VAN RIJSBERGEN, C. J. Quantum theory and the nature of search. In: *Proceedings of the AAAI Quantum Interaction Symposium*, 2007. p. 114-22.
- BARRETT, L. F.; TUGADE, M. M. & ENGLE, R. W. Individual differences in working memory capacity and dual-process theories of the mind. *Psychological Bulletin*, 130, p. 553-73, 2004.
- BLEI, D. M.; NG, A. N. & JORDAN, M. I. Latent dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3, p. 993-1022, 2003.
- BRUNER, J. *Acts of meaning*. Cambridge: Harvard University Press, 1990.
- BRUZA, P. D. & COLE, R. J. Quantum logic of semantic space: an explanatory investigation of context effects in practical reasoning. In: ARTEMOV, S. et al. (Ed.). *We will show them: essays in honour of Dob Gabbay*. London: College Publications, 2005.
- BRUZA, P. D. et al. Entangling words and meaning. In: *Proceedings of the Second Quantum Interaction Symposium*, Oxford: Oxford University Press, 2008. p. 118-24.
- BRUZA, P. D. et al. Extracting spooky-activation-at-a-distance from considerations of entanglement. In: BRUZA, P. D. et al. (Ed.). *Proceedings of QI 2009-Third International Symposium on Quantum Interaction, book series: lecture notes in computer science, 5495*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009. p. 71-83.
- BRUZA, P. D. et al. (Ed.). *Proceedings of QI 2009-Third International Symposium on Quantum Interaction, book series: lecture notes in computer science, 5494*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009.
- _____. *Proceedings of the AAAI Fall Symposium (FS-10-08), quantum informatics for cognitive, social, and semantic processes*. California: Menlo Park, 2010.
- BUSEMEYER, J. R.; WANG, Z. & TOWNSEND, J. T. Quantum dynamics of human decision-making. *Journal of Mathematical Psychology*, 50, p. 220-41, 2006.
- BUSEMEYER, J. R. et al. A quantum theoretical explanation for probability judgment "errors". *Psychological Review*, 108, p. 193-218, 2011.
- DEERWESTER, S. et al. Indexing by latent semantic analysis. *Journal of the American Society for Information Science*, 41, p. 391-407, 1990.
- FREUD, S. *Die Traumdeutung*. Berlin: Fischer-Taschenbuch, 1899.
- GABORA, L. & AERTS, D. Contextualizing concepts using a mathematical generalization of the quantum formalism. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 14, p. 327-58, 2002.
- GRITHS, T. L. & STEYVERS, M. Prediction and semantic association. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 15, p. 11-8, 2002.
- HOFMANN, T. Probabilistic latent semantic analysis. *Proceedings of the 22nd annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, 15, p. 50-7, 1999.
- JAMES, W. *Some problems of philosophy*. Cambridge: Harvard University Press, 1910.
- KAHNEMAN, D. A perspective on judgment and choice: mapping bounded rationality. *American Psychologist*, 58, p. 697-720, 2003.
- KHRENNIKOV, A. Y. & HAVEN, E. Quantum mechanics and violations of the sure-thing principle: the use of probability interference and other concepts. *Journal of Mathematical Psychology*, 53, p. 378-88, 2009.
- LANDAUER, T. K. & DUMAIS, S. T. A solution of Plato's problem: the latent semantic analysis theory of the acquisition, induction, and representation of knowledge. *Psychological Review*, 104, p. 211-40, 1997.

- LANDAUER, T. K.; FOLTZ, P. W. & LAHAM, D. Introduction to latent semantic analysis. *Discourse Processes*, 25, p. 259-84, 1998.
- LUND, K. & BURGESS, C. Producing high-dimensional semantic spaces from lexical co-occurrence. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 28, p. 203-8, 1996.
- PAIVIO, A. *Mind and its evolution: a dual coding theoretical approach*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- PIRON, C. *Foundations of quantum mechanics*. Massachusetts: Reading W. A. Benjamin, 1976.
- _____. *Mécanique quantique bases et applications*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1990.
- POTHOS, E. M. & BUSEMEYER, J. R. A quantum probability explanation for violations of "rational" decision theory. *Proceedings of the Royal Society B*, 276, p. 2171-8, 2009.
- SALTON, G., WONG, A. AND YANG, C. S. A vector space model for automatic indexing. *Communications of the ACM*, 18, p. 613-20, 2009.
- SLOMAN, S. A. The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*, 119, p. 3-32, 1996.
- SUN, R. *Duality of the mind*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.
- VAN RIJSBERGEN, K. *The geometry of information retrieval*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- WIDDOWS, D. Orthogonal negation in vector spaces for modeling word-meanings and document retrieval. In: *Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 2003. p. 136-43.
- _____. *Geometry and meaning*. Chicago: University of Chicago Press, 2006.
- _____. Semantic vector products: some initial investigations. In: *Proceedings of the Second AAAI Symposium on Quantum Interaction*. London: College Publications, 2008.
- _____. Semantic vector combinations and the synoptic gospels. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 5494, p. 251-65, 2009.
- WIDDOWS, D. & PETERS, S. Word vectors and quantum logic: Experiments with negation and disjunction. *Mathematics of Language*, 8, p. 141-54, 2003.

