

Mattessich, R. (2012). Contabilidad, Ontología y el futuro. *Contaduría Universidad de Antioquia*, 60, 15-40.

Contabilidad, Ontología y el futuro

Richard Mattessich, Prof. Emérito.

Sauder School of Business,
University of British Columbia, Vancouver, B.C. Canadá
Richard.Mattessich@sauder.ubc.ca

Traducción: Andrés Felipe Narváez Polanco

narvaezandresfelipe@hotmail.com

Contabilidad, ontología y el futuro

Resumen: *El documento desarrolla la idea de la necesidad de una ontología genérica que pueda contener fundamentos explicativos tanto para el campo de las ciencias naturales como para las ciencias aplicadas y sociales. Al enfoque ontológico, derivado principalmente del pensamiento filosófico y científico quizá más tradicional, se suma la perspectiva de la ontología de sistemas (de orientación computacional) que ha intentado construir un lenguaje que permita entregar fundamentos universales y derivaciones para dominios específicos. En este debate el autor propone avanzar de la socorrida visión antropocéntrica hacia una ontología cósmica que vincule la realidad cuántica, que tiene implicaciones fuertes en las innovaciones de las ciencias computacionales y de la información. La reflexión respecto de estos nuevos horizontes de la ontología permite vaticinar importantes giros reflexivos para la ciencia contable.*

Palabras Clave: *Ontología, ontologías de dominio, ontología de sistemas, realidad cuántica, información.*

Accounting, Ontology, and the Future

Abstract: *This paper develops the idea of the need for a generic ontology that may contain explanatory foundations for both natural sciences and applied and social sciences. In addition to the ontological approach, derived mainly from the philosophical and scientific thought and perhaps the more traditional one, we find the perspective ontology of systems (computer oriented) which has tried to build a language that states universal foundations and references for specific domains. In this discussion the author proposes to pass from the banal anthropocentric vision to a cosmic ontology which includes the quantum reality with strong implications on the innovations of computer and information sciences. Reflection on these new horizons of ontology augurs important turns for accounting sciences.*

Keywords: *Ontology, domain ontologies, ontology of systems, quantum reality, information.*

Comptabilité, l'ontologie et l'avenir

Résumé: *Cet article développe l'idée de la nécessité d'une ontologie générique qui peut comprendre des fondements explicatifs pour le domaine des sciences naturelles ainsi que pour les sciences appliquées et sociales. À l'approche ontologique, dérivée essentiellement de la pensée philosophique et scientifique peut-être plus traditionnelle, s'ajoute la perspective de l'ontologie de systèmes (informatiquement orientée) qui a essayé de construire un langage permettant d'offrir des fondements universels et des références pour des domaines spécifiques. Dans ce débat, l'auteur propose de passer de la banale vision anthropocentrique à une ontologie cosmique comportant la réalité quantique, laquelle présente de fortes implications sur les innovations des sciences de l'informatique et de l'information. La réflexion sur ces nouveaux horizons de l'ontologie augure d'importants tournants réflexifs pour la science comptable.*

Mots-clés: *Ontologie, ontologies du domaine, ontologie de systèmes, réalité quantique, information.*

Contabilidade, ontologia e o futuro

Resumo: *O documento desenvolve a ideia da necessidade de uma ontologia genérica que possa conter bases explicativas para o campo das ciências naturais e para as ciências sócias e aplicadas. Ao abordagem ontológica, principalmente devido ao pensamento filosófico e científico, talvez, mais tradicional, acrescenta-se a perspectiva da ontologia de sistemas (de orientação computacional) que tentou construir uma linguagem que permita entregar fundamentos universais e encaminhamentos para domínios específicos. Neste debate, o autor propõe avançar da socorrida visão antropocêntrica para uma ontologia cósmica que vincule a realidade quântica, que tem fortes envolvimento nas inovações das ciências computacionais e da informação. A reflexão em relação a estes novos horizontes da ontologia augura importantes transformações reflexivas para a ciência contábil.*

Palavras Chave: *Ontologia, ontologias de domínio, ontologia de sistemas, realidade quântica, informação.*

Contabilidad, Ontología y el futuro¹

Richard Mattessich, Prof. Emérito.

Traducción: Andrés Felipe Narváez Polanco

Primera versión recibida febrero de 2012 – Versión final aceptada mayo de 2012

I. Ontología filosófica versus ontología de sistemas

En décadas recientes ha surgido un sorprendente renacimiento del interés en asuntos filosóficos, particularmente desde las áreas de la contabilidad, la economía heterodoxa y la teoría organizacional y de la administración, así como desde las ciencias de la información. El presente artículo da testimonio de esta nueva tendencia que puede ser más que una moda pasajera. El renovado interés, particularmente en la ontología, tiene dos orígenes diferentes. La primera es una necesidad profundamente sentida de aclarar algunas nociones filosóficas fundamentales - o como Vromen dice:

Al contrario de los economistas en la corriente principal, cuya agenda investigativa parece estar dictada por las demandas formales de la consistencia interna, simplicidad, elegancia, parsimonia y docilidad más que cualquier otra cosa, los economistas evolutivos profesan un credo inusual que inicia con consideraciones ontológicas y procede desde ese punto. Podría decirse que, este es un camino más prometedor si deseamos arribar a teorías económicas explicativas y modelos apoyados en evidencia empírica y teórica (Vromen 2004b, p. 240).

La otra fuente de este interés, relativamente nuevo, en la ontología, proviene de los científicos de sistemas. Ellos adoptaron la ontología por motivos léxicos, taxonómicos y otros relacionados con la construcción de una amplia variedad de sistemas artificialmente inteligentes. Esto debería permitirle a los computadores crear conocimiento, comunicarse con las personas, así como con otros computadores. De hecho, esta área parece ser el uso más prometedor de la ontología, desde un punto de vista práctico.

1 Este proyecto contó con el soporte financiero del Concilio para la Investigación en Humanidades y Ciencias Sociales de Canadá.

II. La meta elusiva de unir las ontologías de dominio dentro de una ontología de nivel superior

Como fue previamente indicado, la meta final de una ontología general (o dominio-independiente) es proveer una fundación conceptual válida para todas las ontologías de dominio. Lograr esto ahora o en el futuro cercano puede, originalmente, ha parecido ser una expectativa considerable, por desgracia la realidad es que los obstáculos son enormes. A pesar del considerable esfuerzo por parte de los filósofos y de los científicos de la información, crear una ontología de nivel superior que sin problemas se relacione con todas las posibles ontologías de dominio aún parece ser una meta esquiva. Las complejidades lógicas, semánticas y de sintaxis para lograr tal meta resultaron ser mucho más grandes de lo que se esperaba. Así pues, la gran literatura acumulada sobre este tópico, durante las pasadas dos o tres décadas, aún constituye una “pagaré” para el futuro más que dinero sobre la mesa.

Hay varias razones que sustentan esta visión relativamente pesimista, pero uno de los principales obstáculos (por encima de aquellos mencionados anteriormente) es el desacuerdo entre los expertos sobre las nociones básicas de la ontología del más alto nivel. Una y otra vez, uno encuentra referencias al “Síndrome de la Torre de Babel”. Y esta puede ser la mejor analogía para el estado presente de la ontología, particularmente para la nueva área de “ontología de sistemas”. A primera vista, nuestros intentos (de crear una base ontológica común) parecen haber fallado debido a un marcado individualismo y una gran diversidad de puntos de vista. Por lo tanto, deberíamos presumir que tenemos que crear una especie de “Esperanto” de ontología donde un gran número de estudiosos pueda estar de acuerdo sobre una base común, en lugar de cada uno, o cada grupo, lanzando su propio aparato conceptual y semántico. Sin embargo, este enfoque también puede fallar, y por la misma razón por la cual el Esperanto fracasó en convertirse en la *lingua franca* de un sistema de comunicación lingüística. Pero *linguas francas* han existido en el pasado y aún existen en el presente: El Latín durante edad media y el Inglés aproximadamente desde 1950. Y la razón de este éxito es que ambos, el Latín y el Inglés, no son creaciones artificiales si no lenguajes vivientes. En el caso del Inglés, este tiene una ventaja sobre el Latín medieval en cuanto a que este último no estaba realmente “vivo” entre la gente del común durante la edad media, a pesar de que era regularmente practicado entre los sacerdotes, monjes, médicos y estudiosos para satisfacer la inmensamente importante función de una *lingua franca* dentro de la comunidad intelectual europea. Pero, ¿cuál es la lección, para la ontología, que podemos rescatar de esta analogía? Yo creo que los filósofos tienen que encontrar una base conceptual común que ningún grupo de académicos considere una imposición. En otras palabras, necesitamos una base que sea ampliamente aceptada como “natural”.

Pero es más fácil decirlo que hacerlo. Por lo tanto, no es sorprendente la declaración de Peter Lyster de NIGMS (El Instituto Nacional de la Ciencia de Medicina General), de que una de las áreas de investigación más desafiante y gratificante es “la Sociología de la creación de Ontología – cómo lograr que las comunidades desarrollen y estén de acuerdo con estándares” (cf. Dutchen 2011, p. 2)². Sin embargo, si alguna vez lográramos alcanzar ese estado de iluminación, solo se lograría a través de esfuerzos continuos, de escrutinio y experimentos académicos, pruebas prácticas, así como por ensayo y error. Pero otros, como Stephanie Dutchen, son menos optimistas, ella considera que: “probablemente nunca habrá una única ontología indiscutible que contenga todo el conocimiento científico” (Dutchen, 2011, p. 2).

III. Algunas observaciones sobre los “sistemas ontológicos” en general

Permítanme ofrecer un par de ejemplos sobre la diversidad de varios intentos realizados para construir una base para una ontología general. Aparte de los anteriores intentos *filosóficos* de Edmund Husserl (1900-01, 1912), Nicolai Hartman (1940, 1948, 1953) y otros filósofos, una de las primeras ontologías integrales para la *inteligencia artificial* (referida en el presente como “ontologías de sistemas”) fue un Proyecto-Cyc. Fue concebido en 1984 por Douglas Lena y ha sido desde entonces desarrollado por Cycorp, que pone a libre disposición partes de sus resultados bajo el programa OpenCyc:

OpenCyc es una versión de código abierto de la tecnología Cyc, el motor de razonamiento de sentido común y conocimiento general más grande y completo del mundo. OpenCyc contiene un conjunto completo (no Propietario) de términos de Cyc así como millones de afirmaciones sobre estos. Cycorp ofrece esta ontología sin ningún costo y te alienta a usarla de la manera que más te convenga (OpenCyc-org, 2002, p. 1).

Al contemplar el contexto de este proyecto, uno debe aceptar que la inteligencia artificial (IA) “ha estado en muerte cerebral desde la década de los años 70 (de acuerdo con uno de sus fundadores, Marvin Minsk³—cf. Connolly 2009, p. 1), y aparte del relativamente escaso rango de aplicaciones (tales como juegos de adivinanzas en programas de televisión, juegos de ajedrez, composición musical, entre otros), el advenimiento del Proyecto Cyc (derivado de la palabra “enciclopedia”) bombeó sangre nueva a la IA. De hecho, Minsky parece haber dicho que, en su opinión, solo un proyecto estaba en el camino correcto hacia la solución de los profundos problemas de la IA, y este era el proyecto Cyc.

2 Para dos *papers* preliminares en la sociología de la construcción de ontología y representación de conocimientos, ver a Ribes y Bauker (sin fecha, 2004^a y 2004^b o siguientes).

3 Estos comentarios aparentemente provienen de un discurso o discusión de Marvin Minsky en la Universidad de Boston alrededor del 2003 (cf. Baard, 2003, p 1).

Y aún, a pesar de tan valiente esfuerzo, esta ontología particular ha sido considerada uno de los proyectos más controversiales de la historia de la inteligencia artificial, y ha estado sujeto a mucho criticismo (p.ej. Jansen, 2008). Entre las principales quejas se encuentran: *i)* es muy complejo; *ii)* los manuales de extensiones son muy difíciles de desarrollar; *iii)* el tratamiento de las nociones básicas tales como substancia, propiedades intrínsecas y extrínsecas es insatisfactorio; *iv)* su incompletitud (en amplitud y profundidad); *v)* limitada documentación; *vi)* falta de mediciones de su estado de finalización y eficiencia; *vii)* la falta de amplios servicios de formación para potenciales usuarios; *viii)* brechas en la ontología de objetos ordinarios; *ix)* falta de descripciones relevantes, etc. (cf. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cyc#/ResearchCyc>).

Una noción aun más estrecha de ontología, se encuentra en los creadores de la Tecnología OWL, donde la mera “representación de términos y sus interrelaciones es llamada una ontología” como es confirmado a continuación:

OWL tiene el propósito de ser usada cuando la información contenida en documentos debe ser procesada por aplicaciones, al contrario de situaciones en las cuales el contenido debe ser presentado a humanos. OWL puede ser usado para representar explícitamente el significado de términos en vocabularios y relaciones entre estos términos. Esta representación de términos y sus relaciones es llamada una ontología. OWL tiene más herramientas para expresar significado y semántica que XML, RDF y RDF-S, por lo cual OWL va más allá de esos lenguajes en cuanto a su habilidad de representar contenido interpretable por maquinas en la Red (OWL Lenguaje de Ontología en línea, Información General, 2004/2009, Sección 1).

Pero al considerar que OWL no es ni una ontología filosófica ni de sistemas, sino un lenguaje de computadores (que puede ser usado en combinación con dichas ontologías de nivel superior como BFO, Cyc, DOLCE, GFO, SUMO), debe esperarse una concepción más estrecha de ontología.

IV. Esfuerzos por explotar los sistemas de ontología en la contabilidad, negocios y otras disciplinas

Uno de los mayores esfuerzos en relacionar la ontología de sistemas con la contabilidad y los negocios corre con el nombre de “REA Ontología Empresarial” (para analizar “Recursos, eventos y agentes” económicos). Este proyecto fue iniciado por McCarthy (1982), y su desarrollo y extensión se encuentra en una considerable literatura entre la cual las siguientes publicaciones deben de ser mencionadas: Geerts y McCarthy (1992, 1996, 2002), David et al. (2002), Patridge (2002), Haugen (2007), Church y Smith (2008), Gailly et al. (2008), Hruby y Scheller (2008), Selbrook y Newmark (2008), y Lupasc et al. (2010). Otra rama, relacionada con el REA, y sin embargo bastante independiente de ella (a veces con pocas o ninguna referencia cruzada con la primera rama), es representada por autores tales como Aparaschivei

(2007), Chou et al. (2008), Swanson y Freeze (2009), y Chou y Chi (2010). El objetivo final de ambas ramas parece ser la creación de ontologías de dominio (es decir, esquemas de categorización y taxonomía) con propósitos contables, particularmente para una mejor codificación de las PCGA (Principios Contables Generalmente Aceptados).

El proyecto REA fue basado en la visión de que el ingreso directo de datos de contabilidad tradicional a una base de datos computarizada podría dar lugar a efectos disfuncionales⁴. Su marco “es desarrollado a partir del análisis de estructuras contables tradicionales, y es explicado usando las ideas de un gran número de teóricos contables, principalmente Yuji Ijiri (1975) Richard Mattessich (1964)” (McCarthy, 1982, p. 556). Para superar las limitaciones de la contabilidad tradicional, el REA incorpora semántica específica (arraigada en un conjunto de actividades de negocios tales como ciclos de adquisición, conversión y generación de ingresos) dentro del sistema de información de la empresa. El último puede, a su vez, estar integrado dentro de una ontología específica de sistemas libremente disponible en internet o comercialmente adquirida. De esta manera se puede crear arquitectura basada en REA para una empresa específica. De acuerdo con Geerts y McCarthy:

Han habido [hasta 1999] únicamente un puñado de implementaciones dirigidas a REA en empresas reales tales como Alcoa y Sears. Sin embargo, empresas como PricewaterhouseCoopers e IBM han adoptado algunos estándares de REA como características arquitectónicas guía para diseño de sistemas contables [la nota 2 se refiere a Walker y Denna, 1997, pp. 22-30], y el Software SES ha adoptado muchos de sus principios para diseño de objetos de negocio en su arquitectura BOMA [la nota 11 se refiere a Marshall, 1998] (Geerts y McCarthy, 1999, p. 3).

Tanto el REA como sus ramas relacionadas pueden, con una dosis de imaginación, ser consideradas parte de la literatura “contable”. Pero existe una tercera rama dirigida a las aplicaciones de negocios, aunque posiblemente menos íntimamente relacionada con la contabilidad. Un ejemplo de este enfoque ontológico es conocido como el proyecto ISAD (Análisis y diseño de sistemas de información), introducido por Wand (1998) y Wand y Weber (1998), con artículos más recientes por Wand y Weber (1990, 1995, 2002, 2006) y Everymand y Wand (2009). Este enfoque está basado en ideas de la ontología axiomática de Bunge (1977, 1979). El siguiente pasaje indica la esencia de estos intentos:

Los conceptos adaptados de la Ontología de Bunge pueden ser clasificados en tres “niveles”. El primer nivel es el de los conceptos fundamentales: La cosa,

4 McCarthy (1982, pp. 554-555) sugiere las siguientes debilidades del enfoque tradicional de la contabilidad: 1) La mayoría de las figuras están limitadas a dimensiones monetarias; 2) El esquema de clasificación es frecuentemente inapropiado para otros propósitos de información; 3) El nivel de agregación es muy alto; 4) Hay insuficiente integración con otras áreas de la empresa.

propiedad, la cosa compuesta, propiedades hereditarias y emergentes. Basado en esta noción de un modelo de cosa (un esquema funcional) el estado de una cosa, eventos leyes e interacciones entre cosas son definidas. Finalmente, en el nivel más elevado examinamos cosas que son colecciones de cosas interactuando, y las maneras de descomponerlas [...] Nuestros experimentos nos han guiado a creer que el relativamente reducido número de conceptos puede ser usado exitosamente para modelar varios conceptos y fenómenos de sistemas de información. Sin embargo, se requiere más para demostrar que el modelo es útil, en particular, que genera explicaciones que no estaban disponibles y que es una fuente de predicciones que puedan ser probadas (Wand y Weber, 1990, pp. 146-147).

A pesar de una orientación algo diferente, aparentemente existe cierta competencia entre el proyecto de REA y el de ISAD que pueda haber llevado al siguiente comentario:

SUMO es ampliamente usado en investigación en la comunidad de científica de la computación, y sus estructuras conceptuales están mejor definidas e integradas que aquellas con unos marcos ontológicos más informales tales como Bunge y Sowa. El marco conceptual de Sowa encaja en REA muy bien, pero Bunge es claramente un desacierto conceptual (McCarthy, 2005, p. 5).

En lo referente a esta cita, sería interesante saber por qué la ontología de Bunge es considerada un “desacierto” y aún más, por qué la rigurosa presentación axiomática de Bunge debería ser considerada como “menos formal”. En cuanto a SUMO (Ontología de Fusión Superior Sugerida, por sus siglas en ingles), es la más grande ontología formal pública. Y, como fue mencionado previamente, existe un intento de integrar SUMO y varias ontologías de dominio dentro de una “ontología de múltiples orígenes” (MSO). Otras ontologías de estandarización superior son: Dublin core, GFO, OpenCyc/ResearchCyc, DOLCE, y WordNet, –para una comparación de las ontologías, ver Mascardi y Rosso (sin fecha, 2006 o posteriores): BFO, Cyc, DOLCE, GFO, PROTON, Sowa y SUMO–. Pero “se necesita hacer mucho en el área de investigación ontológica antes de que un sistema de gran escala pueda emerger para demostrar la promesa ontológica de la organización, administración y comprensión de la información superior” (Ding and Foo, 2002a). Estos autores también indican que, hasta el momento, la mayoría de las ontologías han sido generadas manualmente. Este es un enfoque muy costoso en tiempo y muy propenso a los errores con altos costos relacionados en la actualización. Por lo cual, uno debe estar buscando alternativas capaces de generar ontologías por medios de inteligencia artificial. Pierre Grenon, por ejemplo señala que:

Por varias razones, no todas técnicas, aún no existe una ontología que sea aceptada como un estándar en la comunidad de representación de conocimiento. En cambio, hay muchos candidatos entre los cuales por ejemplo, están OpenCyc (www.opencyc.org) y SUMO (www.ontologyportal.org), y otros que ha ido surgiendo con regularidad. Hay razones tanto pragmáticas como ideológicas explicando la situación actual y la

resistencia a trabajar bajo una ontología común. Por el lado pragmático, este implica la resolución de un número de problemas para nada triviales (incluyendo problemas de lógica), y esto tomaría tiempo para llegar a un estándar decente. Tales consideraciones pragmáticas a veces han sido usadas para empequeñecer el valor del intento. Sin embargo, aun si una ontología estándar fuera exitosamente creada, ella tomaría más tiempo y tal vez cantidades exorbitantes de dinero para hacer realidad ontologías y bases de conocimiento hasta un nivel de aceptabilidad. Por el lado ideológico, el problema es la casi omnipresencia, aunque con frecuencia meramente tácita, adhesión a una u otra forma de conceptualismo (frecuentemente con inclinaciones constructivistas o relativistas), lo cual sirve para hacer inmediatamente sospechoso a cualquier candidato que se presente como *la* ontología estándar (Grenon, 2008, p. 74).

Con respecto a los comentarios críticos sobre el “conceptualismo”, el lector tiene que ser consciente de que la antología de Munn y Smith (2008, que incluye el artículo de Grenon) esta exhaustivamente orientada en favor del realismo. De hecho, la mayoría de los artículos de su antología están radicados en la creencia de que el conceptualismo no es apto para ontología alguna. Estos autores argumentan que, finalmente, el conceptualismo no se refiere a la realidad sino simplemente a conceptos. La antología de Munn y Smith (2009) también ofrece una visión de la ontología desde campos tales como la biología y la medicina. Estas son posiblemente áreas en las cuales la mayor parte de la investigación en ontología de dominio es llevada a cabo en el presente.

EL “OLS-Servicio de búsqueda de Ontología” (<http://www.ebi.ac.uk/ontology-lookup/ontologyList.do>) enumera más de 82 diferentes ontologías, la mayoría de ellas de investigación en biología o medicina (y cada una de ellas es accesible haciendo clic en el sitio web correspondiente). También hay una antología de Pisanelli (2004) sobre la *Ontología de la medicina*. Otro ejemplo es la actividad en el grupo de investigación Ontología en medicina (OntoMed, Universidad de Leipzig), la meta de este tiene tres frentes: 1) Su investigación *teórica* está dirigida a “el análisis y la axiomatización de las ontologías básicas generales (ontologías de nivel superior) y su integración en un sistema unificado”; 2) Investigación *conceptual* en el desarrollo de herramientas y métodos formales que apoyen la construcción y representación de ontologías.” Este se refiere a la creación de un marco general así como a un modelo de construcción de ontologías de dominio-específico para las ciencias médicas y biomédicas; 3) *Aplicaciones* en forma de “desarrollo de herramientas de software para administrar un tratamiento basado en las guías en el ámbito médico” para tratamiento de la salud de alta calidad (cf. IMISE 2012: <http://www.imise.uni-leipzig.de/en/Groups/OntoMed/index.jsp>). Una de las principales publicaciones de este instituto, por Herre et al. (2006), sobre la *Ontología formal general* (GFO) Parte 1, hizo el siguiente anuncio:

La próxima Parte II (Lenguajes y Ontologías Axiomáticas) presenta una completa axiomatización de FGO, a la vez que una librería de lenguajes ontológicos y varias

herramientas para análisis meta-lógicos de axiomas formales. En la Parte III (aplicaciones) varias aplicaciones del GFO son reunidas y presentadas. Estas incluyen wikis y herramientas semánticas basadas ontológicamente para desarrollo ontológico a la vez que aplicaciones en varios dominios como en biología, medicina, biomedicina y economía. Finalmente, en la Parte IV (Libro de Problemas de GFO) un número de problemas abiertos es presentado, y varios tópicos para investigación futura son presentados y discutidos (Herre et al., 2006, p. 2).

Sin embargo, a comienzos del 2012 no había ninguna señal de alguna publicación de la Parte II (o partes subsecuentes) de este trabajo en particular. Esto puede ser tomado como un ejemplo más de la inmensa dificultad de empresas tales como la axiomatización y aplicaciones detalladas de lenguajes ontológicos.

Todos estos esfuerzos demuestran que las ciencias de la información (incluyendo la Inteligencia Artificial, la ingeniería del conocimiento y la información, tal como se aplica a cualquier disciplina) se enfrentan con la tarea de diseñar computadores capaces de proveer información para una gran variedad de propósitos, entre los cuales la representación de una realidad presumida ocupa la posición primordial. La ambición es crear nuevo conocimiento para una gran gama de disciplinas y sub-disciplinas. En otras palabras, se espera que los computadores asuman al menos algunas de las funciones que previamente podían ser resueltas únicamente por mentes humanas o que inclusive no podían ser resueltas por estas. Tomemos por ejemplo, el vehículo explorador de Marte de la NASA. Este robot tomó muestras del suelo del planeta Marte, las analizó y envió los resultados a la tierra. Primero, tal visita a Marte, no pudo (al menos en la actualidad) haber sido realizada por ningún ser humano. Segundo, esta hazaña computacional indudablemente enriqueció el conocimiento humano. No obstante, las mentes humanas son infinitamente más flexibles y adaptables a nuevas situaciones que los computadores; estos últimos pueden ser más poderosos y mucho más rápidos pero les falta la *intuición* necesaria para ingresar datos y tomar decisiones cuando problemas totalmente nuevos e indefinidos son encontrados. Por lo cual, los computadores no deben ser solamente pre-programados en lenguajes de códigos especiales, para cumplir nuestras aspiraciones futuras, ellos deben tener una estructura mucho más flexible. Hasta que punto esto es posible para artefactos que no pueden sentir placer, dolor, emociones, esperanzas y aspiraciones, solo el futuro puede revelarlo. Tal vez computadores cuánticos (vea la última sección) podrán ser suficientemente poderosos para llevar a la humanidad más cerca de esta meta.

A cualquier ritmo, el primer paso hacia una ontología de sistemas es crear las categorías y definiciones precisas y suficientemente amplias para anticipar cualquier situación relevante dentro del ámbito de una tarea específica.

Clasificar o categorizar parece ser una tarea aburridora y poco inspiradora; y sin embargo, es crucial para el éxito de los sistemas automatizados de información. O como dice Munn (2008, pp. 7-8) en relación con esto: “los medios por los cuales el conocimiento es recolectado son tan importantes como el conocimiento mismo”. La actual automatización de la representación del conocimiento presenta retos de una naturaleza enteramente diferente a cualquiera que hayan encontrado los investigadores, bibliotecarios y archivistas de las épocas anteriores a la del computador.

V. Ontología: ¿Taxonomía o más?

Existen, al menos, dos diferencias principales entre ontología en el sentido tradicional y filosófico, y ontología en el nuevo sentido, como es entendido en las ciencias de los sistemas. Primero, la última pone mayor énfasis en la clasificación y asuntos semánticos; y segundo, está al menos tan interesada en elaborar las siguientes ontologías de dominio como está en crear una ontología de nivel superior general genuina. Por esta razón, me refiero a “una ontología de sistemas” como consistente de una taxonomía común (con vocabulario específico, definiciones de objetos, sus propiedades y relaciones) para organizar el conocimiento en una gran variedad de áreas”. El espectro de aplicaciones debería abarcar todo, por medio de una *jerarquía de ontologías de dominios específicos*, cubriendo desde la contabilidad y la administración, la física y otras ciencias duras, la biología y la medicina, hasta la inteligencia artificial así como la Red Semántica, ciencias de sistemas e ingeniería de sistemas, bibliotecología, y otros campos del conocimiento.

Pero algunas ontologías de sistemas llegan poco más allá de un sistema taxonómico. Esto no debe ser malinterpretado como una derogación de la taxonomía. Qué sería de la biología sin el sistema binomial de nomenclatura de Linnaeus; o qué sería de la química sin la tabla periódica de Mendeleiev, o de la física cuántica sin la jerarquía de partículas de cromodinámica. Pero, en el sentido tradicional, una ontología trasciende la mera clasificación. Esto es claramente ilustrado por las siguientes tres analogías. El descubrimiento de la tabla periódica fue ciertamente un enorme logro científico, que incluso predijo elementos hasta el momento desconocidos, pero su taxonomía no pudo explicar por qué varios elementos tenían propiedades que la tabla describía o anticipaba. De hecho, no fue hasta que los físicos lograron una visión dentro de la estructura atómica que esta periodicidad y las propiedades de varios elementos químicos pudieron ser explicadas. Igualmente, se necesitó el descubrimiento de la estructura del ADN y muchas otras cosas antes de que la nomenclatura de Linneo encontrara explicación genética. También se requirió la verificación empírica de muchos fermiones, bosones, etc. antes de que el modelo estándar matemático de la física cuántica pudiera ser aceptado.

Tales argumentos pueden plantear la objeción de que todas estas visiones y explicaciones fueron logradas por la ciencia y no por la ontología. Sin embargo, como fue mencionado previamente, es la ontología donde tratamos en el más alto nivel de generalidad, de conectar las disciplinas científicas específicas entre ellas, y no únicamente desde un punto de vista taxonómico sino más bien desde un punto de vista evolutivo más profundo. Tal vez la mayor ilustración de una visión ontológica –tal vez la más profunda– es el hecho de que los seres humanos no podrían existir sin los átomos producidos miles de millones de años atrás en estrellas suficientemente másivas para poder explotar como supernovas. Estas explosiones distribuyeron átomos a todos los rincones del resto del universo, y algunos de estos átomos llegaron a la tierra. Y, como Lawrence Kraus (2009) señaló, hay una gran posibilidad de que los átomos de tu mano derecha provengan de una estrella diferente a los de tu mano izquierda. Tales visiones tan profundas nos conectan con los cielos de una mejor manera de lo que cualquier religión podría. Y la resistencia de esos mismos átomos (más allá de nuestra partida), es la mayor evidencia de la continuidad de la *existencia* más allá de nuestra muerte personal. Estos son hechos y no fantasías vacías. Y aunque la noción de “humanos como polvo de estrella” emergió recientemente en la cosmología, está estrechamente conectada tanto con la biología y con las ciencias sociales como con la física, la química y otras disciplinas. Estas interdependencias entre diferentes áreas científicas es el material en el cual la ontología (como yo la entiendo) prospera y se hace realmente fértil

Por lo tanto, las categorías y conexiones (filosóficas) de la ontología representan los ladrillos básicos, las estructuras e las interrelaciones del universo entero, no únicamente de conceptos. Pero en la ciencia de sistemas el *conceptualismo* parece ser predominante. De hecho, Grenon (2008, p. 70) lo llama “enfoque metodológico principal para la representación de conocimiento desde el *conceptualismo pragmático*”, señalando que “de acuerdo a este enfoque, la prioridad principal del ingeniero del conocimiento es la de crear una base de conocimiento fluida y funcional a partir de cualquier conceptualización que le sea suministrada por expertos del dominio” (ibíd.). Como respuesta a esto, Grenon llama a un enfoque racionalista en vez de a un enfoque conceptualista.

Por otro lado –y fuera de los aspectos anteriormente mencionados– la ontología tradicional puede quedarse corta de buenas taxonomías. Difícilmente esta en una posición de suministrar categorías suficientemente finas y granuladas que son tan indispensables para la mayoría de las actividades científicas. Y esto, entre otros aspectos, justifica la necesidad de ontologías de dominio específicas que se espera que dependan más de ciencias individuales. Pero, el mayor problema es cómo interconectar todas las ontologías de dominio. Además, se debe agregar una búsqueda adicional de una ontología de sistemas que no esta presente en la ontología de filosofía tradicional:

computarizar el proceso de creación y dispersión del conocimiento. Los enormes poderes computacionales que esto podría requerir, deberán esperar al advenimiento de los computadores cuánticos.

VI. Algunos pensamientos sobre la realidad cuántica

Hasta ahora, solo nos hemos preocupado con la realidad inferida de la experiencia de la vida diaria. Podemos hacerlo considerando varias propuestas suficientemente básicas que sirven como candidatas para crear una base que integre todo lo que existe. Y podríamos tratar de hacer lo que las ciencias individuales no pueden hacer, buscar una base que todas las ciencias puedan compartir. Y aun, al hacerlo podríamos embarcarnos en un camino que nos llevará a una colisión con la *realidad cuántica*. Un tipo de realidad no solo absolutamente diferente de nuestra experiencia diaria, si no ocasionalmente reclamando ser la base de todo lo que existe. Antes de terminar este artículo, lo menos que podemos hacer es explicar –y reconciliar tanto como sea posible– la inmensa brecha que separa estas dos versiones de la realidad. Para lograrlo, debemos estar familiarizados con algunos principios básicos del extraño mundo de la física cuántica; y esto podrá ofrecernos una oportunidad de tener una mirada a un reino de posibilidades futuras.

La principal diferencia entre la realidad cuántica y la realidad clásica (física) que se viene a la mente, es la *indeterminación* del famoso “Principio de Incertidumbre” de Heisenberg (1927). Según este principio, mientras más precisa sea la medición por ejemplo, de la *posición* de una partícula, menos precisamente podremos medir su *momentum* y *viceversa*. Una incertidumbre similar y contraposición ocurre en las mediciones de la energía vs. el tiempo (duración) de una partícula. Sin embargo, para todas estas incertidumbres se cumple, que cuando solo dos valores son permitidos, no existen escenarios intermedios (por ejemplo, uno puede medir o la ubicación o el momentum de un fotón, pero no ambos –para más detalles ver *Stanford Encyclopedia of Philosophy 2006, revisada en julio 3–*)

A partir de esto se concluye que la teoría cuántica trabaja con probabilidades. No solamente las partículas (por ejemplo fotones) asumen forma de onda (dualidad partícula-onda), ellas pueden ser representadas de una mejor manera por ondas de probabilidades –nubes oscilantes de distribución, cuya densidad incrementa en algunas áreas pero decrece en otras⁵–. La verificación

5 Evidencia de la *real* existencia de las funciones de onda parece haberse fortalecido recientemente (ver a Reich, 2011). Esto parece ser cierto sin importar el hecho de que en contraste con la física clásica –en la cual las funciones probabilísticas son aditivas– “las [p]robabilidades en la teoría cuántica no tienen una analogía clásica porque ellas simplemente no son aditivamente lineales; ellas son no lineales (Pagels, 1983, p. 115). Para otro libro popular de este autor, ver Pagels (1986).

más famosa de este fenómeno es el reconocido experimento de la “doble ranura” (una versión de este fue concebida primero por Thomas Young en 1804):

Con el tanque de ondas [Young] demostró la idea de interferencia en el contexto de ondas de agua. Con el experimento de dos hendiduras, o de la doble ranura, él demostró la interferencia en el contexto de la luz como una onda. En un artículo titulado *Experimentos y cálculos relativos a la Óptica Física*, publicado en 1804, Young describe un experimento en el cual el colocaba una pequeña tarjeta (de aproximadamente 1/30 de pulgada) en un rayo de luz de una única apertura en una ventana y observaba las franjas de color en la sombra y a los lados de la tarjeta. El observó que al colocar otra tarjeta antes o después de la delgada tira, para prevenir que la luz del rayo toque uno de sus bordes, esta causaba que las franjas desaparecieran [nota omitida]. Esto apoyó la aseveración de que la luz esta compuesta de ondas [nota omitida]. (*Wikipedia*, 2011, modificado Nov. 21, b: 1).

Esto confirmó la teoría ondulatoria de la luz (de Cristiaan Huygens, 1629-1695), en contradistinción a la teoría de corpúsculos o partículas de la luz de Newton. Pero, para establecer la dualidad de la naturaleza de partícula-onda de la luz, el mundo científico tuvo que esperar hasta el desarrollo de la teoría cuántica a comienzos del siglo XX⁶. Sin embargo, el experimento de la ranura doble es aún considerado como parte del núcleo de la teoría cuántica. De hecho, el premio Nobel Richard Feynman solía señalar que todas las mecánicas cuánticas podían ser obtenidas al considerar detallada y cuidadosamente las implicaciones del experimento de la doble rejilla (cf. Greene 1999, pp. 97-109). De especial importancia es el hecho de que la dualidad onda-partícula no está restringida a fotones, sino que se cumple para todas las partículas subatómicas, atómicas e inclusive partículas moleculares. Dependiendo de cual de las interpretaciones vigentes de la teoría cuántica uno acepte⁷, la incertidumbre en mediciones puede sugerir la interdependencia general de las variables que se influyen mutuamente. Estas interdependencias juegan un rol más crucial en el nivel cuántico que en el nivel macro. Después de todo, el proceso de medición es una macro-actividad que está forzada a interferir más significativamente cuando se entromete en el reino comparablemente más pequeño de los fenómenos cuánticos que cuando lo hace en el macro-mundo⁸.

6 *Wikipedia* (2011, modificado, Noviembre 22): “Las Cuantas” de luz de Einstein no serían llamadas fotones hasta 1925, pero inclusive en 1905 estos representaban el ejemplo por excelencia de la dualidad onda-partícula “Es por la cuantización de las partículas de luz (y el efecto foto-eléctrico) el mérito por el cual Einstein recibió su premio Nobel, y no por su teoría de relatividad”.

7 Schumacher (2009, pp. 85-87) discute tres: La interpretación de Copenhagen, la interpretación de variables escondidas, y la interpretación de múltiples universos.

8 En contraste con esto está el mundo macro en el cual la medición de una actividad no es tan distorsionada. Durante mi período como professor en Berkeley (en los años 60), solía hacer auditorías a algunas cátedras de Edward Teller (El “Padre de la bomba de hidrogeno”). Al comparar mediciones en el mundo macro (con aquellas en el reino cuántico) Teller, en tono de broma, sugería medir la temperatura del agua de la tina de baño con el frío dedo gordo del pie, algo

Otra característica notoria de la teoría cuántica es que las partículas están cuantificadas, es decir, ellas no se presentan en unidades continuas (análogas) sino en unidades *discretas*. La razón: las órbitas de electrones alrededor de los átomos están en diferentes corazas energéticas, por lo cual, el electrón hace un *salto cuántico* desde el estado base a una órbita superior cuando absorbe unidades discretas de energía electromagnética (a través de un fotón de una frecuencia específica) o hace lo contrario al ceder tal unidad discreta de energía al emitir un electrón. Cada unidad de energía es llamada un quantum, y la cantidad cuantificada de energía depende de la frecuencia cuantificada de la partícula-onda. Esto explica las famosas “líneas de Fraunhofer” de espectros de luz, la base del análisis espectroscópico de la luz de las estrellas. Algo que demostró ser espectacularmente útil en la astronomía y la cosmología moderna al determinar las sustancias de las estrellas distantes también como su velocidad (a través del efecto Doppler o del desplazamiento hacia el rojo de esas líneas).

Algunos fenómenos particularmente extraños de la teoría cuántica son el *entrelazamiento cuántico* y la *teleportación cuántica*. La teleportación cuántica ha sido hipotetizada por algún tiempo, pero solo recientemente ha sido confirmada empíricamente. Es uno de los rasgos más misteriosos de la teoría cuántica, y significa nada menos que la “transposición” de una partícula entrelazada (precisamente hablando, de la “información que constituye esta partícula”) a través de distancias de kilómetros sin cruzar físicamente el espacio mismo. En otras palabras, la partícula es *instantáneamente reconstruida* en el nuevo lugar y deconstruida en el lugar anterior. Este fenómeno –llamado por Einstein “una acción escalofriante a distancia” (para más detalles, ver Greene, 2004) – es, sin lugar a dudas, uno de los fenómenos más extraños de la física cuántica. Como fue insinuado, no es una mera consecuencia de la matemática cuántica, pero ha sido recientemente confirmado empíricamente en una serie de experimentos por el físico austríaco Anton Zeilinger y sus colaboradores (cf. Zeilinger, 2011). Estos fascinantes experimentos incluyen la teleportación de fotones a través del Danubio a la vez que la teleportación a las Islas Canarias (entre La Palma y Tenerife, una distancia de 100 km)

El “secreto” de este tipo de teleportación es el “entrelazamiento cuántico”. Este fenómeno ocurre cuando un cristal (por ejemplo borato de bario beta) es usado para dividir un fotón de alta energía en un par de fotones entrelazados (mientras más alta sea la energía, más probable es que la división ocurra)⁹. Pero cada fotón entrelazado es de menor energía (por lo tanto de menor frecuencia) que el fotón único original, sin embargo, juntos ellos conservan la

que podría influenciar la temperatura del agua –aunque en un grado mucho menos significativo de lo que haría una medición en física cuántica–.

9 La división de fotones puede ser también lograda por medios de Interferómetros con espejos de una cara bañados en plata.

energía total originalmente emitida del laser. El par de fotones resultantes son considerados *fotones entrelazados* porque según las propiedades del par de fotones emitidos, es de cierta manera, considerado como una entidad única de partes complementarias (por ejemplo, si un fotón esta polarizado horizontalmente, el otro debe estar polarizado verticalmente o alineado; o alternativamente si uno tiene un espín orientado hacia abajo, el otro debe tener un espín orientado hacia arriba, etc.). E inclusive cuando estas propiedades son desconocidas, la teoría cuántica estipula que deben ser complementarias si están entrelazados. Mas aun, solo cuando una partícula de la pareja entrelazada es medida, el estado de la otra es revelado. Por ejemplo, si un fotón entrelazado pasara un filtro polarizador, su pareja entrelazada no pasaría porque tan pronto como la polarización del primer fotón es medida, la polarización del segundo fotón demostrará tener una polarización (complementaria) opuesta. Esta es la comunicación aparentemente instantánea entre partículas entrelazadas, incluso si ellas están separadas por millas y puedan haber tenido frecuentes cambios aleatorios de polarización. En otras palabras, en fotones entrelazados las propiedades cuánticas están tan fuertemente vinculadas que un fotón siempre parece “saber” el estado del otro. Cuando una propiedad de un fotón entrelazado es medida, el fotón complementario cambia en respuesta, inclusive si los dos fotones están separados por largas distancias. Este es el principio básico, pero experimentos más sofisticados usan varios pares de fotones entrelazados para cambiar las propiedades de un tercer fotón (cf. Zeilinger, 2011). Y más allá de los fotones, experimentos similares de teleportación cuántica han sido realizados con otras partículas, inclusive con átomos (cf. Rincón, 2004).

Una consecuencia importante de la teoría cuántica es la relación entre sustancia e información. Yo indiqué esto anteriormente al declarar que es en realidad la información lo que es teleportado, y que la partícula es reconstituida por su información. Pero en tanto la información pueda ser un intermediario del cambio, ¿puede ser idéntica a la sustancia que inicia el cambio? Esta es una pregunta desafiante. Sin embargo, si es cierto que cuerdas y aros de energía vibrante son la sustancia suprema, entonces estas entidades podrían no solamente ser las portadoras, sino también las constituyentes de la información que determina las propiedades de estas sustancias. De hecho, los físicos especulan que frecuencias, formas y otras propiedades de estas supercuerdas y aros determinan las características, y diferencias entre estas partículas. Así pues, parece que sustancia e información se unen y pueda ser difícil distinguir a una de la otra¹⁰. Un modelo posible sería el de considerar

10 Más allá de los rasgos de la teoría cuántica mencionados en el texto anterior, hay muchos otros (por ejemplo la hipótesis de los multiples universos). No entraré en esas discusiones debido a que algunas de ellas son muy especulativas, por lo menos en esta etapa, y otras pueden ser menos relevantes para nuestra discusión.

a la sustancia como concreta, mientras a la información como abstracta, y la interacción (por ejemplo, fuerzas –ya sean, débiles, fuertes, electromagnéticas, etc.–) como un medio que conecta las dos. Aunque esto podría ser cierto para la física, ¿también es cierto en las ciencias económicas y sociales? Y aún, ahí la información (una entidad abstracta) es transportada por sustancias (entidades concretas) que pueden conducir a interacciones (por ejemplo, fuerzas sociales) entre las mismas u otras. Por ejemplo, tomemos una nota de papel (concreta) indicando información (abstracta) de que el precio de las acciones para una acción en particular suba. Si esto conduce a una transacción (interacción) entre el comprador y el vendedor de estas acciones, entonces tendríamos un modelo análogo al modelo físico.

Pero aún existe un malentendido que debe ser clarificado. Schumacher (2009, p. 69) señala que Rolf Landauer, un físico de IBM, reclama que la “información es física”. Sin embargo, esto puede fácilmente malinterpretarse como “la información es concreta”. “El solo hecho de que la información [...] tome tantas formas” (*ibíd.* p.70) es la mejor advertencia de que la forma física concreta de la información es algo diferente de los pedazos de información en el sentido abstracto. Identificar esas dos entidades sería un grave error.

VII. Realidad cotidiana vs. la realidad cuántica

Ya que le hemos dado un vistazo a la realidad cuántica y algunos de sus sorprendentes resultados, surge la pregunta de cómo reconciliar esas características con nuestro esfuerzo de extraer las premisas básicas de la realidad cotidiana. Primero que todo, tenemos que sacudirnos la visión antropocéntrica y asumir un punto de vista cósmico. Esto significa que tenemos que ser conscientes de que no es el mundo cuántico el que es extraño; este meramente nos parece extraño a criaturas como nosotros que han estado condicionadas por la evolución a desarrollar únicamente aquellas características con las que la realidad nos confrontó en el pasado sobre bases regulares. Y esas características son muy diferentes a las situaciones con las cuales los seres humanos y sus ciencias están enfrentándose. Cuando se trata del nivel atómico y subatómico, la evolución no ha tenido tiempo para condicionar a los seres humanos a fenómenos con los cuales ellos jamás se habían encontrado antes. Por lo tanto, debemos atribuirle la rareza de la realidad cuántica a nuestras propias limitaciones y no a alguna “aberración” de la naturaleza. Y este hecho no está limitado a la teoría cuántica. El mismo es cierto para algunos macrofenómenos físicos, como la teoría especial y general de la relatividad. Después de todo, solo fue hace unos cien años que los seres humanos comenzaron a preocuparse seriamente por la velocidad de la luz, la curvatura del espacio y otras “extrañas” propiedades físicas. Y seguimos teniendo dificultades para aceptarlas.

Sin embargo, la pregunta crucial es “¿cómo podemos reconciliar las discrepancias entre nuestra realidad cotidiana y aquella de la física moderna y el mundo cuántico?” El primer paso en este esfuerzo sería evitar proposiciones fundamentales que puedan contradecir cualquier ley de la realidad cuántica y de la teoría de la relatividad. Algunos lectores podrían discutir que estas proposiciones reflejan una actitud racionalista y entonces están en conflicto con la teórica cuántica.

Un segundo paso sería abandonar la visión reduccionista de que, al final, la física por sí misma es suficiente para explicar todos los aspectos de la realidad. El eslogan de “La teoría de cuerdas es la teoría de todo” es meramente una de muchas expresiones que manifiestan la unilateralidad de algunos físicos. Tales visiones limitadas fracasan al transmitir el hecho de que niveles superiores de la realidad han surgido por procesos evolucionarios que –basados en la física– van más allá de ella porque son procesos *basados en el azar*. Esto lleva a las propiedades emergentes que surgen del caos de innumerables eventos fortuitos de la evolución cósmica, biológica y cultural. Pero, aparte de esta visión fundamental, si la física por sí misma fuera suficiente para explicar toda la realidad, ¿por qué necesitamos biología, economía y otras disciplinas en nuestras universidades? Podría responderse que el conocimiento ha crecido hasta tal punto que la especialización en varios temas es inevitable. Pero esto difícilmente explicaría la diferencia fundamental entre estas disciplinas.

Un tercer paso es la anteriormente mencionada coordinación de ontología con la gama entera de las ciencias, o alternativamente una más o menos firme integración de varias ontologías de dominio con una ontología general básica. Una ontología que integra el espectro presente de visiones científicas no solamente parece ser la única solución razonable, pero también afirma los aspectos *provisionales* de sus afirmaciones. Esto contrasta con una ontología que afirma ser una imagen final de la realidad.

Un cuarto paso es recordar que en muchos casos las características “raras” de la realidad cuántica se resuelven a sí mismas sin dificultad en un nivel macro. Por ejemplo, considere la complementariedad. Aquí la incertidumbre de medir la posición de una partícula es Δx y la incertidumbre al medir su momentum es Δp (en el cual $p = v m$, es decir, momento = velocidad por masa). Según el principio de Heisenberg $\Delta x \Delta p \geq h$ (en el cual $E = hf$, es decir, la energía E es la constante de Planck h veces la frecuencia f de la partícula), lo cual significa que al medir la posición de una partícula en un relativamente alto nivel de precisión, el momentum puede ser medido únicamente a un bajo nivel de precisión y viceversa¹¹. Ya que la constante de Planck es una figura extremadamente pequeña, el Principio de Heisenber se hace muy significativo en

11 Una compensación similar (a la anterior, entre la precisión al medir la posición y momento de una partícula) puede hacerse entre energía y tiempo.

el reino de lo pequeño (el reino cuántico), pero es relativamente despreciable en el reino de los fenómenos grandes. Esta es la razón por la cual yo no creo que el racionalismo en el reino macro necesariamente excluya los principios de la teoría cuántica en el reino micro y viceversa. Considero que en el nivel micro el impacto de nuestras observaciones y mediciones es suficientemente significativo para generar indeterminaciones esto es precisamente por lo cual, en este nivel, tenemos que aceptar la teoría cuántica. Pero en el nivel macro es evidente que la “reacción” de la observación o la medición es usualmente muy débil para esencialmente distorsionar la imagen de la realidad como es presentada por varias ciencias. Así, no veo una necesidad de abandonar el realismo científico. Sin embargo, esto no debe tomarse como una insinuación de que en el mundo macro las incertidumbres desaparecen completamente. Estoy absolutamente de acuerdo con Bronowski (1973, p. 365) en que: “todo el conocimiento, toda la información entre los seres humanos puede solo ser intercambiada dentro del juego de la tolerancia”, por el cual el lector debería estar consciente de que Bronowski prefiere llamar al principio de incertidumbre de Heisenber el “principio de tolerancia”. Bronowski también enfatiza que: “Lo que hace el principio tan profundo es que Heisenberg especifica la tolerancia que puede ser alcanzada. La vara de medición la constante cuántica de Planck. En el mundo del átomo, el área de incertidumbre siempre esta siempre asignada por el quantum”. Es decir, por la constante de Planck h . que indica la mínima cantidad de incertidumbre que no puede ser superada por ningún proceso de medición simultánea de dos variables en cuestión, posición vs. *Momentum*, o alternativamente, tiempo vs. energía (vea el texto y ecuaciones presentadas anteriormente, incluyendo pie de notas)

VIII. Algunas observaciones sobre computadores cuánticos y criptografía cuántica

Obviamente, la realidad cuántica no puede ser ignorada en ninguna de las ontologías modernas. Aparte de eso, las propiedades cuánticas juegan un rol cada vez mayor en las nano-tecnologías modernas y en el futuro puede inclusive revolucionar nuestras capacidades computacionales a través de computadores cuánticos. Pero ¿qué son computadores cuánticos? Primero que todo, estos computadores son aún solo una visión del futuro –excepto por algunos prototipos de máxima capacidad de al menos 16 qubits (es decir el estado de arte al final de la primera década del siglo 21)–. Tal capacidad limitada es insuficiente para un serio trabajo computacional. Las principales diferencias entre los computadores cuánticos y tradicionales son: *i)* los computadores cuánticos explotan propiedades cuánticas de los electrones, fotones y posiblemente otras partículas; *ii)* En cuanto a los procedimientos de búsqueda, los computadores tradicionales buscan *secuencialmente* por medio

de *bits* (es decir dígitos binarios, ya sea 0 o 1) mientras los computadores cuánticos buscan *simultáneamente* (“paralelismo” y “multitarea”) por medios de *qubits* (es decir bits cuánticos con un código binario superpuesto entre 0 y 1, similar a un “quizas” o más sofisticadamente como un espectro de probabilidades entre 0 y 1). Adicionalmente, computadores cuánticos podrán emplear ebits (pares de qubits entrelazados), usualmente en combinación con bits y qubits regulares. Una búsqueda simultánea (multitarea) está basada en propiedades cuánticas tales como superposición y entrelazamiento porque los qubits pueden entrelazarse entre ellos así como superponerse y crear un gran espectro de valores. *iv*) En cuanto al almacenamiento de información, este no se lleva a cabo (al igual que el procesamiento) en chips de silicio y bits, sino por medio de partículas atómicas y subatómicas en una base de qubits y ebits. De este modo, un determinado estado cuántico de un átomo opera como un valor de qubit o ebit en un computador cuántico. Se espera que esto permita una mucho más profunda miniaturización así como una mayor velocidad de computación. Como fue mencionado, los computadores cuánticos están aún en una fase experimental. Bonson y Strickland (2011, p. 3), en su Sección en “Today quantum computers”, ofrecen una lista concisa de contribuciones hechas en este sentido (entre el tiempo comprendido entre 1998 y 2007). Por encima de todo, un modelo teórico de una Máquina de Turing cuántica (“el computador cuántico universal”) ha sido presentada por Deutsch (1985). Pero los actuales prototipos de computadores cuánticos están muy lejos de las capacidades de los computadores actuales de chips de silicio. Sin embargo, hay algunas contribuciones significativas en el área de la computación cuántica que presentan situaciones en las cuales los computadores cuánticos podrían resolver problemas matemáticos de maneras inmensamente más expeditas que los computadores tradicionales.

1) El artículo de Deutsch y Jozsa (1992) sobre “Soluciones Rápidas de Problemas por Computación Cuántica” fue el primero en mostrar la superioridad potencial del computador cuántico, aunque este “Algoritmo Deutsch-Jozsa” parece ser más una especialidad matemática que un problema práctico fácilmente describible a personas del común.

2) De mayor significado práctico puede ser el artículo de Grover (1996), “Un algoritmo rápido de mecánica cuántica para búsqueda de bases de datos”, diseñado para explorar una base de datos *sin clasificar*. Una típica ilustración es el denominado “problema de directorio telefónico inverso” en el cual un número telefónico específico (pero no su propietario) es conocido y en el cual la tarea es identificar el nombre del propietario. Asumiendo que el directorio telefónico contiene dos millones de nombres, entonces a través del método tradicional, un millón de nombres deben ser explorados en *promedio* (y en situaciones poco favorable inclusive los dos millones). Un computador cuántico,

por otro lado, buscaría aquellas direcciones a través de cada elemento, pero podría simultáneamente emplear una gran cantidad de exploradores (cuantas entrelazadas), sería como Schumacher (2009, p. 80) dice, “buscando una suposición de todos los nombres. Esta “multitarea simultánea” podría reducir significativamente el tiempo de búsqueda.

3) La aplicación más prometedora de los computadores cuánticos (al menos en su etapa inicial parece ser la “factorización cuántica” propuesta por Peter Shor (1997) en su artículo sobre “Algoritmos de Tiempo Polinomial para Factorización Prima y Logaritmos Discretos en Computadores Cuánticos”. Su idea básica es encontrar, tan eficientemente como sea posible, todos los factores aritméticos de un número muy grande. A primera vista esto puede sonar como una tarea puramente matemática de limitado uso práctico. Sin embargo, es básico en criptografía, algo no solo importante en tiempos de guerra pero cada vez más importante para la industria, el gobierno, así como para propósitos militares en tiempos de paz. Dada su capacidad de búsqueda simultánea y su consecuente velocidad, así como otras características especiales (como “distribución cuántica de claves”)¹², se espera que la criptografía sea una de las tareas más adecuadas para los primeros grupos operativos de computadores cuánticos (ver Politi et al., 2009).

La revista *Science Daily* también se refiere al gran avance potencial para los computadores cuánticos y su muy superior eficiencia y velocidad en las siguientes palabras:

El estado cuántico del átomo es una descripción de cosas tales como su energía, movimiento, campo magnético y otras propiedades físicas [...] Los experimentos de NIST usaron manipulaciones de rayos laser para transferir estados cuánticos de un átomo de berilio a otro átomo dentro de un conjunto de trampas microscópicas, con una tasa de éxito del 78 por ciento. Esta técnica puede resultar ser muy útil para transportar información en los computadores cuánticos del futuro, que podrían ser elementos de proceso central menores que un grano de azúcar que llevaran a cabo computaciones masivamente complejas que son actualmente imposibles. (*Science Daily* 2004, Junio 21)

Fuera de la miniaturización, tales computadores cuánticos podrían tener un potencial de llevar a cabo ciertos cálculos una manera incomparablemente más veloz que los tradicionales computadores basados en silicio. Aun antes de que esto pueda ser logrado, los computadores cuánticos tienen que superar muchos desafíos, y Schumacher señala dos de ellos:

12 “La distribución de claves cuánticas” (ver a Bennett et al., 1992), en la actualidad usada por bancos e instituciones gubernamentales para proteger comunicaciones secretas e información, es el establecimiento de un código secreto “irrompible” sin el conocimiento explícito de las partes protegidas. Esto está garantizado por el “teorema de no clonación” (ver Wootters y Zurek, 1982).

Cualquier interesado en construir computadores cuánticos enfrenta un reto de enormes proporciones. La máquina debe estar extremadamente aislada del mundo exterior, o de lo contrario la interferencia externa causaría que los procesos cuánticos pierdan su coherencia. Sin embargo, las diferentes partes del computador, deben poder interactuar rápidamente entre ellas de lo contrario la computación no puede llevarse a cabo. Hasta ahora, a pesar de cierto progreso, este dilema sigue sin solución (Schumacher, 2009, p. 80).

Para más detalles sobre esta idea básica sobre computadores cuánticos, sus operaciones, y diferencias *vis-á-vis* computadores convencionales, así como las dificultades adicionales que se deben superar, ver a Bonsor y Strickland (2000, Dic. 8).

Para nuestro propósito, el significado de potenciales computadores cuánticos es el prospecto de explotar los fenómenos cuánticos para propósitos prácticos. Tales aplicaciones serían la prueba más visible de que la física cuántica y las propiedades cuánticas no son más que unas visiones abstractas y difíciles de comprender para las personas del común. Estos fenómenos son parte de “nuestra” realidad, y deberíamos tratar de reconocerlos y comprenderlos.

Sin embargo, más allá de esta toma de conciencia existe la posibilidad de que la teoría cuántica juegue un rol aún más profundo. Roger Penrose (1989, 1994, 2004, 2010), por ejemplo, ha hipotetizado en varios libros sobre la posibilidad de que la propia conciencia humana esté basada en fenómenos cuánticos. Así como Wikipedia (2011, modificado: Diciembre 7 de 2011) lo presenta concisamente, los mayores argumentos de Penrose (1994) son:

- La conciencia humana no es algorítmica, por lo cual no es capaz de ser modelada por una máquina de Turing convencional o un computador digital.
- Las mecánica cuántica juega un rol esencial en la comprensión de la conciencia humana, específicamente, él [Penrose] cree que los micro-túbulos dentro de las neuronas sostienen superposiciones cuánticas.
- El colapso objetivo de la función de onda cuántica de los micro-túbulos es crítica para la conciencia.
- El colapso en cuestión es un comportamiento físico que no es algorítmico y trasciende los límites de la computabilidad.
- La mente humana tiene habilidades que ninguna máquina de Turing podría poseer dado este mecanismo de físicas no computacionales (Wikipedia 2011, según modificado en Diciembre 7, 2011)

Claro está que tales ideas altamente especulativas suscitaron duras críticas (cf. Landau 1997), pero si sucediera que hay algo de verdad en ellas, entonces no deberíamos sorprendernos de que algún día los computadores cuánticos puedan operar con principios que, de hecho, asemejan los procesos cerebrales, algo que, hasta ahora, ha eludido a nuestros expertos en computadores.

Referencias bibliográficas

- Aparaschivei, F. (2007). The Importance of an Accounting Ontology, *Economy Informatics* 1 (4), 5-10.
- Baard, M. (2003). AI founder blasts modern research, *Science – Discoveries*: <http://www.wired.com/science/discoveries/news/2003/05/58714>
- Bennett, C.H., Bessette, F., Brassard, G., Salvail, L. and Smolin, J (1992). Experimental quantum cryptography, *Journal of Cryptology* 5(1), 3-28.
- Bonsor, K. and Strickland, J. (2011, Dec.8) 'How quantum computers work', *How stuff works*: <http://computer.howstuffworks.com/quantum-computer1.htm>
- Bronowski, J. (1973). *The ascent of man*, Boston, MA: Little, Brown and Co.
- Chou, C.-C. and Chi, Y.-L. (2010). Developing ontology-based EPA for representing accounting principles in a reusable knowledge component, *Expert Systems with Applications* 37(3, March), 2316-2323,
- Chou, T., Vasar, J. and Lin, B. (2008). Knowledge management via ontology development in accounting', *Kybernetes*, 37(1), 36-48.
- Church, K. and Smith, R. (2008). REA Ontology-based simulation models for enterprise strategic planning, *Journal of Information Systems* 22(2, Fall), 301-329.
- Connolly, T. (2009). Is artificial intelligence possible?, *Ciftronik*: <http://www.ciftronik.com/my-news/publication/is-artificial-intelligence-possible.html>
- David, J.S., Gerard, G.J., and McCarthy, W.E. (2002). Design science: an REA perspective on the future of AIS. In: V. Arnold and S. Sutton, eds., *Research accounting as an information systems discipline*, Sarasota, FA: American Accounting Association.
- Deutsch, D. (1985). Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer, *Proceedings of the Royal Society of London; Series A, Mathematical and Physical Sciences* 400(1818), 97–117.
- Deutsch, D. and Jozsa, R. (1992). Rapid solution of problems by quantum computation, *Proceedings: Mathematical and Physical Sciences*, Volume 439, Issue 1907, 553-558.
- Ding and Foo (2002a). Ontology research and development, Part 1—a review of ontology, *Journal of Information Science* 28 (2, April), 123-136.
- Ding and Foo (2002b). Ontology research and development, Part 2— A Review of Ontology Mapping' *Journal of Information Science* 28(5), 375-388.
- Dutchen, S. (2011). Inside life science: what is an ontology? *National Institutes of Health*: <http://livescience.com/13585-ontology-virtual-libra...>
- Gailly, F., Laurier W. and Poels, G. (2008). Positioning and formalizing the REA enterprise ontology, *Journal of Information Systems* 22(2), 301-329.
- Geerts, G. and McCarthy, W.E. (1992). 'The extended use of intensional reasoning and epistemologically adequate representations in knowledge-base accounting systems', *Proceedings of the Twelfth International Workshop on Expert Systems and their Application*: 321-332.
- Geerts, G. and McCarthy, W.E. (1996). Automated integration of enterprise accounting models throughout the systems development life cycle, *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management* 5, 113-28.
- Geerts, G. and McCarthy, W.E. (1999). 'An accounting object infrastructure for knowledge-based enterprise models', *IEEE Intelligent systems & their applications* (July-August), 89-04.
- Geerts, G. and McCarthy, W.E. (2002). 'An ontological analysis of the primitives of the extended-REA enterprise information architecture', *The International Journal of Accounting Information Systems* 3, 1-16.
- Greene, B. (1999). *The elegant universe: superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory*, New York: Random House Inc.

- Greene, B. (2004). *The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality*, New York: Alfred A. Knopf division, Random House.
- Grenon, P. (2008). 'A primer on knowledge management and ontological engineering' in Munn, K. and Smith, B., eds., *Applied ontology: an introduction*, Frankfurt: Ontos Verlag: 57-82.
- Grover, L.K. (1996). A fast quantum mechanical algorithm for database search, *Proceedings of the ACM Symposium*: 213-219.
- Hartmann, N. (1940). *Der Aufbau der realen Welt* (Construction of the real world), Berlin: De Gruyter.
- Hartmann, N. (1948). *Zur Grundlegung der Ontologie* (Foundations of ontology), Melsenheim am Klan: Westkulturverlag Anton Han.
- Hartmann, N. (1953). *New ways of ontology*, Chicago, IL: Henry Regnery Company (translated by Richard, C, Kuhn from *Neue Wege der Ontologie*, 1949).
- Haugen, P. (2007). Beyond the enterprise: taking REA to higher levels, *REA-25 Conference*, Newark, DE: available at: <http://www.aisvillge.com/rea25/program/haugen.pdf>
- Heisenberg, W. (1927). Ueber die Grundprincipien der "Quantenmechanik" ' Forschungen und Fortschritte 3, 83.
- Herre, H. Heller, B., Burek, P., Hoehndorf, R. Loebe, F. and Michalek, H. (2006). 'General formal ontology, Part 1: Basic principles', IMISE, University of Leipzig: <http://www.onto-med.de/publications/2006/herre-h-2006-a.pdf>
- Hruby, P. and Scheller, C.V. (2008). Understanding accounting from REA perspective: <http://www.managementinformation.ugent.be/REAworkshop2008/Montpellier.pdf>
- Husserl, E. (1900-01). *Logische Untersuchungen*, Halle (translated as *Logical investigations*, 2 vols., London 1970).
- Husserl, E. (1913). *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie* (translated as *Ideas pertaining to a pure phenomenology and a phenomenological philosophy—First Book: General introduction to a pure phenomenology*, trans. By F. Kersten, The Hague: Nijhoff 1982).
- Ijiri, Y. (1967). *The foundations of accounting measurement*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. (reprint in 1978 in Accounting Classic Series. Houston, TX: Scholars Books).
- IMISE (Institute for Medical Informatics, Statistics and Epidemiology—Group of OntoMed, University of Leipzig, 2012). Internet posting: <http://www.imise.uni-leipzig.de/en/Groups/OntoMed/index.jsp>
- Jansen, L. (2008). Categories: the top-level ontology, in K. Munn, and B. Smith, eds., *Applied ontology: an introduction*, Frankfurt: Ontos Verlag: 173-196.
- Landau, L.J. (1997). Penrose's philosophical error: <http://www.mth.kcl.ac.uk/~llandau/Homepage/Math/penrose.html>
- Lupaşc, A., Lupaşc, I., and Negoescu, G. (2010). The role of ontologies for designing accounting information systems: http://www.ann.ugal.ro/eco/Doc2010/LupasLupasc_Negoescu.pdf
- Mattessich, R. (1964). *Accounting and analytical methods*, Homewood Ill.: R.D. Irwin, Inc. (reprinted in the "Accounting Classics Series," Houston Tex.: Scholars Book Co., 1977- and translations in Japanese, German and Spanish).
- McCarthy, W.E. (1982). The REA model: a generalized framework of accounting systems in a shared data environment', *The Accounting Review* 57 (3, July), 554-578.
- McCarthy, W.E. (2005). The integration of an accounting domain ontology (REA) with an upper ontology (SUMO): http://cim3.net/wiki.pl?Conference_Call_2005_03_17
- Munn, K. (2008). Introduction: what is ontology for?, in Katherine Munn K. and Barry Smith, eds., *Applied ontology: an introduction*, Frankfurt: Ontos Verlag: 7-19.
- Munn, K. and Smith, B., (eds.) (2008). *Applied ontology: an introduction*, Frankfurt: Ontos Verlag.
- News and Public Affairs* (last modified April 28, 2005): <http://www.lanl.gov/news/releases/archive/04-056.shtml>

- OpenCyc (2002, up-dated March 27). Selected vocabulary and upper ontology: <http://www.cyc.com/cycdoc/vocab/upperont-diagram.html>
- OpenCyc (2010, updated Aug. 30). For the sematic web: <http://sw.opencyc.org/>
- OWL Web Ontology Language (2004/2009). Overview: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- Pagels, H.R. (1983). *The cosmic code*, New York: Bantham Books (original edition, Simon & Schuster, 1982).
- Pagels, H.R. (1986). *Perfect symmetry—in search of the beginning of time*, New York, NY: Bantham edition, Simon & Schuster.
- Partridge, C. (2002). A new foundation for accounting: steps towards the development of a reference ontology for accounting, Technical Report 23/02, LADSEB-CNR, Padova, Italy.
- Penrose, R. (1989). *The emperor's new mind: concerning computers, minds and the laws of physics*, Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, R. (1994). *Shadows of the mind: a search for the missing science of consciousness*, Oxford: Oxford University Press.
- Penrose, R. (2004). *The road to reality: a complete guide to the laws of the universe*, London: Vintage Books.
- Penrose, R. (2010). *Cycles of time: an extraordinary new view of the universe*, New York: Knopf.
- Pisanelli, D.M. (ed.) (2004). *Ontologies in medicine* (Vol. 102 of Studies in Health Technology and Informatics), Amsterdam: IOS Pres.
- Politi, A., Matthews, C.F., and O'Brien, J.L. (2009). 'Shor's quantum factoring algorithm on a photonic chip', *Science* 325 (5945, September 4), 1221.
- Reich, E.S. (2011). Quantum theorem shakes foundations--the wave function is a real physical object after all, say researchers', *Nature* (Nov. 17): [com/news/quantum-theorem-shakes-foundations-1.9392](http://www.nature.com/news/quantum-theorem-shakes-foundations-1.9392)
- Ribes, D. and Bauker, C. (undated, 2004a or after). A learning trajectory for ontology Building:<http://www.sis.pitt.edu/~gbowker/Ribes%20and%20Bowker%20-%20A%20Learning%20Trajectory%20for%20Ontologies.pdf>
- Schumacher, B. (2009). *Quantum mechanics: the physics of the microscopic world—course guidebook*, Chantilly, VA: The Teaching Company
- Science Daily* (2004, June 21). Reference to potential breakthrough for quantum computers.
- Selbrook T. and Newmark, R. (2008). Automating REA policy level specification with semantic web technonogies, *Journal of Information Systems* 22(2), 249-77.
- Shor, P.W. (1997). Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, *SIAM J. Comput.* 26(5), 1484–1509.
- Stanford Encyclopedia of Philosophy (2006, revised July 3), 'The uncertainty principle': <http://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/>
- Swanson, Z.L. and Freeze, R. (2009), Generally accepted accounting principles [GAAP] codification: an ontological perspective; SSRN: available on: <http://ssrn.com/abstract=1262059>
- Wand, Y. (1988). An ontological foundation for information systems design theory, in B. Pernici and A. Verrijn-Stuart, eds., *Proceedings of the IFIP 8.4 Working Conference on Office Information Systems: The design process*, Linz: Austria (August 1988), Amsterdam: Elsevier Science Publishers, B.V. (North Holland), 201-222.
- Wand, Y., and Weber, R. (1989). An ontological evaluation of systems analysis and design methods, in E.D. Falkenberg and P. Lindgreen, eds., *Information systems concepts: an in-depth analysis*, Amsterdam: Elsevier: 79-107.
- Wand, Y., and Weber, R. (1990). Mario Bunge's ontology as a formal foundation for information system concepts, in Paul Weingartner and Georg J.W. Dorn, eds., *Studies on Mario Bunge's Treatise*, Amsterdam: Rodopi-Atlanta, GA.

- Wand, Y., and Weber, R. (1995). On the deep-structure of information-systems, *Information Systems Journal* 5: 203-223.
- Wand, Y., and Weber, R. (2002). Research commentary: information systems and conceptual modeling--A research agenda, *Information Systems Research* 13(4, December), 363-76.
- Wand, Y., and Weber, R. (2006). An ontological foundation of conceptual modeling, *Scandinavian Journal of Information Systems* 18(1), 127-138.
- Wikipedia (2011, modified Nov. 21, b). Thomas Young (scientist): http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Young_%28scientist%29#Wave_theory_of_light
- Wikipedia (2011, modified Nov. 22). Wave-particle duality: http://en.wikipedia.org/wiki/Wave%E2%80%93particle_duality
- Wikipedia (2011, modified Dec. 7). Shadows of the mind: http://en.wikipedia.org/wiki/Shadows_of_the_Mind:_A_Search_for_the_Missing_Science_of_Consciousness
- Wootters, W.K. and Zurek, W.H. (1982). A Single Quantum Cannot be Cloned, *Nature* 299, 802-803.
- Young, T. (1804). *Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*, London.
- Zeilinger, A. (2011). Interviewed by Eric Powell: Dangled from windows, teleported photons, and taught the Dalai Lama, *Discover Magazine* 32(6, July-August special issue), 78-84.