

Tendencias en computación: Web Semántica y Computación Cognitiva

Trends in computing: Semantic Web and Cognitive Computing

MIGUEL ROYO-LEÓN^{1,2,4}, DYNHORA DANHEYDA RAMÍREZ-OCHOA³
Y ALFONSO JOSÉ BARROSO-BARAJAS^{1,3}

Recibido: Noviembre 14, 2017

Aceptado: Enero 8, 2018

Resumen

Las ciencias computacionales se han reafirmado como una disciplina revolucionaria que avanza tanto en sus propios esfuerzos, como potenciando el trabajo de otras ciencias. Dos ramas computacionales que actualmente se investigan con auge, y que se implementan también en otras disciplinas, son la Web Semántica y la Computación Cognitiva. En este artículo presentamos una perspectiva general de cada área, así como algunos ejemplos de aportaciones significativas en otras ciencias.

Palabras clave: ciencias computacionales, Web Semántica, Computación Cognitiva, interdisciplinaridad.

Abstract

Computer sciences have reaffirmed as a revolutionary discipline that advances both on its own efforts, same as bolstering work in other sciences. Two computational branches that are being increasingly researched, and are also applied in other disciplines, are the Semantic Web and the Cognitive Computing. In this paper we present a general perspective of each area, same as examples of their significant contributions in other sciences.

Keywords: Computer science, semantic web, cognitive computing, interdisciplinarity.

Introducción

El alcance de las ciencias computacionales comprende todos los ámbitos de la vida humana moderna: desde los usuarios comunes que utilizan aplicaciones de ofimática o de navegación en Internet en computadoras personales o teléfonos móviles, hasta científicos prominentes que realizan cálculos complejos automatizados en granjas de servidores, sin dejar de lado implementaciones militares y empresariales de gran envergadura y costo. Esta joven disciplina, con menos de 80 años de existencia, innegablemente ha resultado revolucionaria para la humanidad.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Ingeniería, Campus Universitario II, Chihuahua, Chih., México. C.P. 31240. Tel: (614) 442 9500.

² UNIVERSIDAD DE TEXAS EN EL PASO. Departamento de Ciencias Computacionales, 500 West University Avenue, El Paso, Texas, Estados Unidos de América.

³ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHIHUAHUA. Tecnologías de la Información y Comunicación. Av. Montes Americanos, No. 9501, Sector 35, C. P. 31216, Chihuahua, Chih., México.

⁴ Dirección electrónica del autor de correspondencia: mroyoleo@uach.mx

Las ciencias computacionales tienen una naturaleza ambivalente: tanto avanzan por sí mismas, desarrollando conocimiento y tecnología dentro de sus diversas áreas, como pueden ser utilizadas por otras ramas del conocimiento, ya sea como auxiliar para lograr descubrimientos, o incluso empujándolas para generar técnicas e implementaciones novedosas que auxilien en las necesidades de dichos campos del conocimiento.

La Inteligencia Artificial (*Artificial Intelligence*) es una rama de la computación que estudia cómo lograr que las computadoras puedan pensar y actuar de forma humana o de forma racional (Russell y Norvig, 1995). La Web Semántica y la Computación Cognitiva son dos ramas de la Inteligencia Artificial que buscan replicar algunos procesos mentales que realizan los humanos, e incluso potenciarlos gracias a las capacidades de cómputo disponibles. La Web Semántica se encuadra dentro del estudio de la Representación del Conocimiento y Razonamiento (*Knowledge Representation and Reasoning*) (Berners-Lee *et al.*, 2001), mientras que la Computación Cognitiva se encuentra en la confluencia de las áreas de Procesamiento del Lenguaje Natural (Natural Language Processing), Aprendizaje de Máquina (*Machine Learning*) y la Interacción Humano-Computadora (*Human-Computer Interaction*) (Kelly, 2015).

El presente artículo busca introducir al lector en ambas áreas, así como ejemplificar su uso en otras disciplinas del conocimiento.

La Web Semántica

La World Wide Web (WWW, la Web, o el Internet) fue diseñada para presentar información con formato fácilmente comprensible para los humanos, pero desafortunadamente no provee ni la estructura y ni las semánticas explícitas necesarias para que las computadoras puedan lograr cierto nivel de comprensión de la información para su utilización automatizada (Fuchs *et al.*, 2010). Si así fuera, las computadoras podrían procesar los datos que encontrarán disponibles en las páginas de la red mundial de una manera más sencilla. Las investigaciones al respecto no solo buscan desarrollar algoritmos que puedan entender las expresiones humanas, sino que también buscan proveer a las computadoras con datos bien definidos (Berners-Lee y Hendler, 2001).

Para sir Tim Berners-Lee, creador de la Web original, el pensamiento humano realiza dos tareas que las computadoras no han logrado replicar: utilizar información de *trasfondo* para comprender el *significado* de información novedosa, así como realizar *inferencias* en base a la información ya conocida (Berners-Lee *et al.*, 2001). La Web Semántica es una evolución de la Web original con la que es posible modelar la información del mundo real para discernir su significado de forma computacional, gracias a las relaciones entre los términos de un dominio determinado, lo que permite realizar inferencias basándose en la información almacenada en su base de conocimiento (Berners-Lee y Hendler, 2001). Para lograr esto, se utiliza un conjunto de lógicas formales llamadas Lógicas de Descripción, implementadas como tecnologías web estandarizadas (Hitzlet *et al.*, 2009).

Tanto los datos del dominio o problema como la información de trasfondo necesaria para poder realizar el razonamiento se modelan en colecciones de *términos, relaciones, clases y propiedades*, en forma de vocabularios controlados, taxonomías u ontologías, utilizando lenguajes de marcado como XML, RDF o OWL. Toda esta información se almacena en *triples* o *tripletas*, enunciados compuestos de un *sujeto* y un *objeto* unidos por una *relación*. Las clases se interrelacionan con otras por estas relaciones o roles. Los individuos pertenecientes a estas clases cuentan con diferentes propiedades o datos. La información modelada de esta manera también se puede abstraer como grafos con nodos que representan las clases, interconectados por las relaciones, representadas como flechas. En el ejemplo de la Figura 1, indicamos en forma de grafo que una MacBook es una subclase perteneciente a la clase de Computadoras. Con esto en cuenta y yendo más allá, podemos imaginar MacBooks específicas de diferentes personas relacionadas a esta subclase, cada una con sus propios datos como dueño, número de serie, especificaciones técnicas, etc.

La implementación de servicios de Web Semántica requiere de distintas piezas de software. Existen editores de ontologías que facilitan el trabajo de su programación y prueba. Uno de los más usados es Prótegé, desarrollado en la Universidad de Manchester (Hitzlet *et al.*, 2009). Los razonadores (*Reasoners*)

son utilizados para «razonar» o «inferir» sobre la base de conocimientos utilizada, y encontrar nuevos datos, relaciones e incluso clases, ejecutando algoritmos de inferencia sobre esta base de conocimientos (Abburu, 2012). Prótegé integra varios razonadores para agilizar el desarrollo y probar los modelos. Los datos de Web Semántica se pueden almacenar en bases de datos de grafos (*Graph Databases*) (Robinson *et al.*, 2015) o en almacenes de tripletas (*Triple Stores*) (Ontotext, 2014), los cuales suelen implementar *endpoints*, puntos de consulta de datos abiertos a la web en general.

Los conceptos de Web Semántica comenzaron siendo implementados para compartir información científica de forma transparente y rápida. En principio, se planteaba la posibilidad de compartir reportes de experimentos de laboratorio o datos de forma automatizada hacia sistemas hermanados, así como añadir información semántica a los artículos científicos para facilitar su distribución (Berners-Lee y Hendler, 2001). Las aplicaciones de Web Semántica han ido mucho más allá.

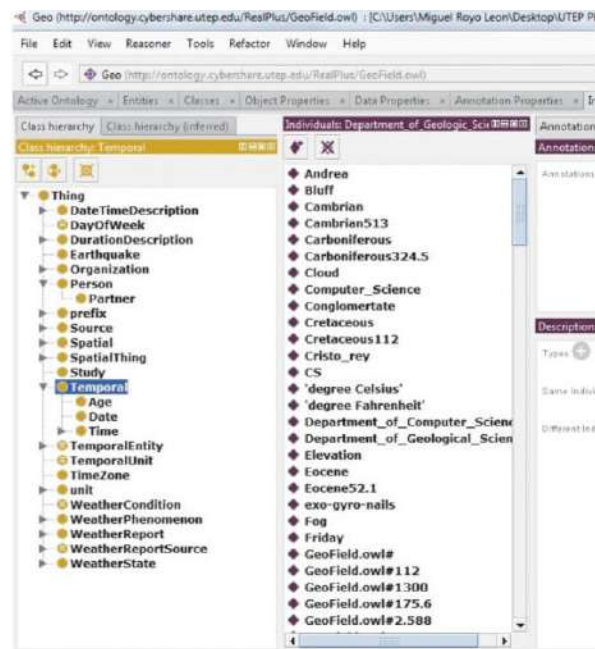
Figura 1. Ejemplo de una tripleta para «Una MacBook es una subclase de Computadora», en forma de grafo. El sujeto es MacBook, la relación es `rdfs:subClassOf`, y el objeto es Computer.



La investigación biomédica ha logrado importantes avances gracias a la Web Semántica. La ontología *Gene Ontology* (Ontología del Gen) estableció un vocabulario controlado que permitió unificar la descripción de partes, funciones y procesos celulares. La Web Semántica ha facilitado integrar bases de datos para realizar consultas, debido a la gran cantidad de datos generados en este campo (Hoendorf *et al.*, 2012). Gracias a Gene Ontology, se pueden realizar análisis de estructuras genéticas como el GSEA (*Gene Set Enrichment Analysis*, análisis de enriquecimiento de conjuntos de genes), que ha dado pie a, por ejemplo, estudios de mecanismos del cáncer. También se realizan estudios de farmacogenómica, con vías de auxiliar a la medicina personalizada al estudiar estrategias de respuesta de individuos a diferentes medicamentos (Dumontier y Villanueva-Rosales, 2009).

En ciencias de la tierra también se han dado implementaciones exitosas. NASA desarrolló la *Semantic Web for Earth and Environmental Terminology* (SWEET, Web Semántica para terminologías de la tierra y ambientales), un conjunto de ontologías sobre ciencias ambientales y de la tierra, con el objetivo inicial de usarse en una herramienta de búsquedas (Raskin y Pan, 2005). SWEET también ha sido usada en utilerías de geo posicionamiento, recolección de datos de vida marina y ecología, así como para interoperabilidad entre fuentes de datos de geociencias (Barahmand *et al.*, 2010). Un proyecto con connotaciones semánticas es EarthCube, una iniciativa para implementar ciber infraestructura con estándares tecnológicos para realizar investigación interdisciplinaria. Earthcube financia diferentes proyectos con tecnologías semánticas para geociencias, en los campos de colaboración y descubrimiento científico, compartición, e integración de datos (Gil *et al.*, 2014). EarthCube organizó un par de campañas durante los veranos de 2015 para que un grupo de científicos computacionales experimentara de primera mano el trabajo de campo en las geociencias, y buscar implementar soluciones tecnológicas para facilitarlos (Mookerjee *et al.*, 2015). Muchos de los científicos computacionales presentes contaban con estudios de Web Semántica (Amini, 2015).

Figura 2. Una ontología abierta en Prótegé, software de edición de ontologías (Musen, 2015).



La potencia y el futuro de las tecnologías semánticas puede observarse claramente en los proyectos del Internet de las Cosas (*Internet of Things*), que busca interconectar aparatos, dispositivos y sensores a través del Internet. Esto conlleva contar con «representaciones computacionales» de los dispositivos para que otros sistemas computacionales puedan comunicarse con dichos dispositivos y operarlos. Sería utópico pensar que es posible crear estándares obligatorios para esta diversidad de aparatos y almacenamiento de datos. En este caso, la Web Semántica es una opción viable como capa intermedia que permita la comunicación con los diferentes dispositivos e integrar las diversas bases de datos de información detectada por los sensores, permitiendo la interoperabilidad de todos estos elementos (Barnaghi *et al.*, 2012). Esta implementación va más allá de los típicos casos promocionados para el público en general, como los casos de aparatos electrodomésticos capaces de comunicarse por Internet en caso de requerir reparaciones o realizar compras de abarrotes. Finalmente, el concepto de ciudad inteligente (*Smart City*) busca que la tecnología pueda incidir en cuestiones de movilidad, economía, medio ambiente, habitación, gestión, etc., y así mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, teniendo especialmente en cuenta el desarrollo sostenible (Villanueva-Rosales *et al.*, 2015).

Cómputo Cognitivo

Dado que las publicaciones que existen al respecto del cómputo cognitivo provienen de las grandes empresas de cómputo (Ferrucci *et al.*, 2010; IBM, 2014; Kelly, 2015; Hewlett Packard, 2016), podemos considerar que es una tendencia claramente empresarial. Contando con profundas bases de ciencias computacionales e Inteligencia Artificial, el cómputo cognitivo tiene como objetivo crear tecnologías (software y/o hardware) que repliquen los procesos cognitivos del cerebro humano para potenciar tareas que tanto humanos como máquinas realizan por separado (Kelly, 2015), pero que darán mejores resultados con la colaboración, interacción y aprendizaje (Aguirre, 2015).

De acuerdo con el *Cognitive Computing Consortium* (Consortio de Cómputo Cognitivo), una agrupación de empresas interesadas en desarrollar

esta área (IBM, Hewlett Packard, Microsoft, por mencionar a las más conocidas), el cómputo cognitivo busca lograr *hacer computables* problemas que antes no lo eran, debido a su complejidad, y su inherente incertidumbre y ambigüedad (Cognitive Computing Consortium, 2014).

Los sistemas cognitivos deben:

a) Ser *adaptables* a posibles cambios en la información (incluyendo entrada de datos en tiempo real) y a la evolución de los requerimientos (resolviendo situaciones de ambigüedad y tolerando la incertidumbre).

b) *Interactuar* con usuarios humanos y otros dispositivos.

c) Definir *problemas con preguntas*, y buscar información adicional si el problema inicial es incompleto o ambiguo. Deben poder recordar iteraciones previas.

d) *Utilizar información contextual*, estructurada o no estructurada, y entradas de datos de sensores (Cognitive Computing Consortium, 2016).

La respuesta de preguntas de dominio abierto (*Open-domain question-answering*) (Simmons, 1970) es un problema computacional que consiste en responder preguntas realizada en un lenguaje natural humano con información veraz y en el mismo lenguaje. Para realizar esto, una computadora necesitaría realizar lo que realiza una persona:

a) Comprender la pregunta en el lenguaje natural.

b) Discernir la información que se requiere del sistema.

c) Considerar el contexto de la información que requiere el usuario.

d) Buscar en una amplísima fuente de datos de forma muy veloz.

e) Encontrar la información pertinente y construir la respuesta.

IBM Watson es un sistema cognitivo enfocado a responder preguntas de dominio abierto. En 2011, Watson participó en el programa de televisión de concursos Jeopardy!, en el cual los participantes deben responder las preguntas que realiza el anfitrión, estructurando su respuesta en forma de pregunta. Watson logró derrotar a varios campeones históricos del concurso (Jackson, 2011).

Watson trabaja con una metodología similar a la que hemos descrito, generando hipótesis de respuesta para la pregunta realizada y reuniendo evidencia para cada respuesta, las cuales evalúa para finalmente dar al usuario las respuestas que considere más adecuadas (Ferrucci *et al.*, 2010). Watson es alimentado con documentos de textos relacionados a algún tema específico o dominio. Los documentos pueden ser archivos de tipo PDF, texto plano, páginas de Internet, o Word, por mencionar algunos. Es recomendable que los documentos hayan sido revisados y «curados» por expertos en el dominio de la aplicación, con la intención de eliminar información irrelevante, desactualizada o de poca consideración. En ocasiones puede ser necesario revisar el formateo de la información para mejorar su ingestión y uso por parte de Watson (Royo-León *et al.*, 2016).

Los documentos ingeridos son pre-procesados por Watson antes de proceder a la fase de entrenamiento, en la cual el usuario realiza preguntas a Watson y las aparea con la respuesta correcta entre las que el mismo Watson proporciona (Ferrucci, 2012). Al recibir las preguntas del usuario, Watson realiza un análisis de sus componentes, identifica qué se está preguntando y genera una serie de posibles interpretaciones de la pregunta, correspondientes con hipótesis para las cuales buscará respuestas. Tras buscar evidencias a favor y en contra de las hipótesis, Watson evalúa cada respuesta antes de clasificarlas de acuerdo con la evaluación de su evidencia, y calcula la confianza en dicha respuesta (Ferrucci *et al.*, 2010).

IBM llama a este proceso DeepQA (*Deep Question Answering*). Requiere de una gran cantidad de procesamiento computacional para producir las respuestas de las hipótesis, estimar la confianza en las mismas, usar los componentes expertos, e integrar tanto conocimientos profundos como someros de la respuesta. Watson es capaz de utilizar más de cien técnicas distintas de análisis del lenguaje natural, identificación de fuentes de información, generación de hipótesis, evaluación de evidencias, y unión y clasificación de hipótesis evaluadas (Ferrucci *et al.*, 2010). La Figura 3 ilustra este proceso.

Trabajar con Watson requiere una cuidadosa revisión del dominio al que se referirá la aplicación, y

de los documentos que se incluirán como corpus para Watson, para reflejar correctamente que el conocimiento con que la aplicación deberá responder esté suficientemente comprendido por los documentos. Watson se entrena entonces realizando las preguntas relacionadas al dominio, y de preferencia basadas en los documentos. Al realizar las preguntas a Watson, el sistema dará posibles opciones de respuesta y solicitará que el usuario indique cuál respuesta es la más acertada. Watson aprenderá progresivamente acerca del dominio y de cómo responder las preguntas de forma acertada gracias a esta interacción. IBM recomienda entrenar a Watson con al menos 800 preguntas para un sistema prototipo, o 1000 para un sistema en producción (Aguirre, 2015). Tras finalizar este proceso de entrenamiento, Watson está listo para responder las preguntas de los usuarios, pero no contará con una interfaz directa para ello, por lo que es necesaria una aplicación que se conecte con Watson, envíe la pregunta y reciba los resultados que Watson le arroje como posibles respuestas a la pregunta realizada (Aguirre, 2015).

Figura 3. Ilustración del proceso DeepQA (Ferrucci *et al.*, 2010).

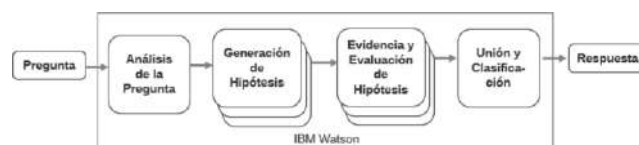
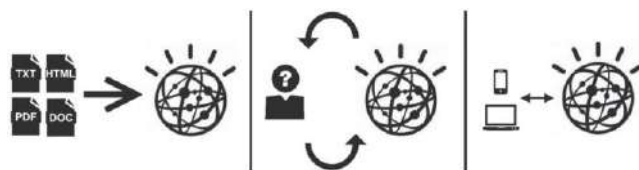


Figura 4. Procesos de A. Ingestión de documentos, B. Entrenamiento con preguntas, y C. Conexión de la interfaz con Watson (computadora o teléfono móvil) (Royo-León *et al.*, 2016).



IBM ha lanzado diversas aplicaciones para dominios específicos utilizando Watson como plataforma. El Memorial Sloan Kettering Cancer Center de Nueva York, habilitó una instancia de Watson con un corpus de literatura científica sobre el cáncer con más de 290 revistas médicas arbitradas,

200 libros, y más de 12 millones de páginas de texto (IBM, 2016), con el objetivo de mejorar las decisiones clínicas de los médicos (Fu *et al.*, 2015). IBM también ha entrenado a Watson con un corpus de documentos describiendo más de 8 millones de ataques informáticos de *spam* o *phishing*, y documentación de más de 100,000 vulnerabilidades de sistemas informáticos, que permitan ayudar en tareas de cyber seguridad (IBM Security, 2016). En México, el Museo Nacional de Antropología entrenó a Watson para poder responder 22,000 preguntas acerca de 11 piezas arqueológicas específicas dentro del museo (Unocero, 2017).

Otra empresa que ha lanzado productos relacionados con cómputo cognitivo es Hewlett Packard Enterprise (HPE) con Haven OnDemand, que provee servicios en la nube por medio de APIs (*Application Programming Interfaces*, Interfaces de programación de aplicaciones) de análisis de textos, reconocimiento de lenguaje hablado, reconocimiento de imágenes, análisis predictivo y búsquedas, con el fin de que sus usuarios puedan desarrollar aplicaciones con «inteligencia humana aumentada» (Cognitive Computing Consortium, 2016).

Conclusiones

La Web Semántica se ha desarrollado mayormente para uso científico, aunque existen casos de implementaciones industriales. La literatura describe proyectos que habilitan compartición de datos, incluso al grado de disponibilidad inmediata, lo que permite una transparencia de información muy necesaria en diversos ámbitos, como gobierno, empresarial, y por descontado el científico. A pesar de estas proyecciones y diversos casos de éxito, consideramos que solo se alcanzará una verdadera explosión en el uso de las tecnologías semánticas, comparable al éxito del Internet común, cuando el uso de sus tecnologías sea simplificado lo suficiente, o envuelto, para que su adopción por el común de los usuarios y/o programadores, sea cuasi transparente, y no requiera de un alto nivel de preparación técnica para poder utilizarse; estas características fueron lo que permitió el *boom* de las tecnologías Web. Un avance al respecto es que en las nuevas versiones de HTML integran componentes semánticos en sus definiciones, lo que permitirá agregarlos a las páginas web de forma rápida.


Las grandes empresas de cómputo como IBM y HP han invertido enormes cantidades de dinero en proyectos de Computación Cognitiva, conjuntando técnicas de Inteligencia Artificial para poder lograr resultados sorprendentes. Con seguridad el cómputo cognitivo se establecerá en el mercado, o al menos en mercados específicos que cuenten con los recursos para pagar estos servicios. Es probable que estos servicios permeen poco a poco en aplicaciones que utilizan los usuarios comunes. Estas implementaciones van por buen camino, pues la interacción entre un usuario común y un sistema cognitivo se da de forma tan sencilla como hacer una pregunta en un lenguaje humano, y que el sistema arroje respuestas correctas. Es previsible que conforme pase el tiempo, se liberarán nuevos servicios de cómputo cognitivo, para auxiliar en áreas aún más diversas.

Las contribuciones actuales de la investigación sobre Web Semántica y Cómputo Cognitivo nos permiten dilucidar un brillante futuro para ambas ramas de la computación, no se diga de la Inteligencia Artificial en general. El ritmo de los avances ha generado debates acerca de los controles necesarios para evitar su mal uso, o para poder llegar a controlar la llamada «singularidad», en que un sistema inteligente podría hacerse consciente de su propio potencial.

Hemos visto que las técnicas de ambas áreas cada vez son más utilizadas en implementaciones interdisciplinarias. Denotamos que el esfuerzo para construir aplicaciones de calidad en ambas áreas es fuerte desde el punto de vista técnico, y podemos vislumbrar que se requerirá mayor esfuerzo para su generalización o masificación. Afortunadamente, los ejemplos, y los beneficios de estas tecnologías están cada vez más al alcance de los usuarios comunes.

Literatura citada

- ABBURU, S. 2012. A survey on ontology reasoners and comparison. *International Journal of Computer Applications*, 57(17).
- AGUIRRE, D. 2015. Cognitive Computing [Material de Clase]. *Colección personal de Diego Aguirre*. El Paso, Texas, Estados Unidos de América.
- AGUIRRE, D. 2015. JSON - Watson Tutorial [Material de clase]. *Colección personal de Diego Aguirre*. El Paso, Texas, Estados Unidos de América.
- AMINI, R. 2015. *EC3 Fieldtrip: 2-7 August 2015/ Yosemite NP and Owens Valley*. Retrieved from Data Semantics Lab, Wright State University: <http://dase.cs.wright.edu/blog/ec3-fieldtrip-2-7-august-2015-yosemite-np-and-owens-valley>

- BARAHMAND, S., Taheryian, M., Al-Ashri, S., and Upadhyay, B. 2010. *A Survey on SWEET Ontologies and their applications*. Retrieved from Mohsen Taheryian's Website - Reports: <http://www-scf.usc.edu/~taheriya/reports/csci586-report.pdf>
- BARNAGHI, P., Wang, W., Henson, C., and Taylor, K. 2012. Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, 8(1), 1-21.
- BERNERS-LEE, T., and Hendler, J. 2001. Publishing on the semantic web. *Nature*, 410(6832), 1023.
- BERNERS-LEE, T., Hendler, J., and Lassila, O. 2001. The Semantic Web. *Scientific American*, 284(5), 28-37.
- COGNITIVE COMPUTING CONSORTIUM. 2014. *Cognitive Computing defined*. Retrieved 2017, from Cognitive Computing Consortium Web Site: <https://cognitivecomputingconsortium.com/resources/cognitive-computing-defined/#1467829079735-c0934399-599a>
- COGNITIVE COMPUTING CONSORTIUM. 2016. *HPE Haven OnDemand Machine Learning & Search*. Retrieved 2017, from Cognitive Computing Consortium web site: <https://cognitivecomputingconsortium.com/hpe-haven-ondemand-machine-learning-search/>
- DUMONTIER, M., and Villanueva-Rosales, N. 2009. Towards pharmacogenomics knowledge discovery with the semantic web. *Briefings in bioinformatics*, 10(2), 153-163.
- FERRUCCI, D. 2012. Introduction to This is Watson. *IBM Journal of Research and Development*, 56(3.4), 1-1.
- FERRUCCI, D., Brown, E., Chu-Carroll, J., Fan, J., Gondek, D., Kalyanpur, A. A., and Lally, A. 2010. Building Watson: An overview of the DeepQA project. *AI Magazine*, 31(3), 59-79.
- FU, J., Gucalp, A., Glass Zauderer, M., Epstein, A. S., Kris, M. G., Keesing, J., . . . Seidman, A. D. 2015. Steps in developing Watson for Oncology, a decision support system to assist physicians choosing first-line metastatic breast cancer (MBC) therapies: Improved performance with machine learning. *ASCO Annual Meeting Proceedings*, 33, p. 566.
- FUCHS, C., Hofkirchner, W., Schafranek, M., Raffl, C., Sandoval, M., and Bichler, R. 2010. Theoretical foundations of the web: cognition, communication, and co-operation. Towards an understanding of Web 1.0, 2.0, 3.0. *Future Internet*, 2(1), 41-59.
- GIL, Y., Chan, M., Gomez, B., and Caron, B. 2014. *EarthCube: Past, Present, and Future. EarthCube Project Report EC-2014-3*.
- HITZLET, P., Krotzsch, M., and Rudolph, S. 2009. *Foundations of the Semantic Web*. CRC Press.
- HOENDORF, R., Dumontier, M., and Gkoutos, G. V. 2012. Evaluation of research in biomedical ontologies. *Briefings in bioinformatics*, 14(6), 696-712.
- IBM. 2014. IBM Watson: How it works. Retrieved 2017, from <https://www.youtube.com/watch?v=Xcmh1LQB9I>
- IBM. 2016. IBM Watson for Oncology. Retrieved 2017, from <https://www.ibm.com/watson/health/oncology-and-genomics/oncology/>
- IBM Security. 2016. *Cognitive security [White paper]*. Retrieved 2017
- JACKSON, J. 2011. IBM Watson vanquishes human Jeopardy foes. *PC World*(17).
- KELLY, J. E. 2015. *Computing, cognition and the future of knowing*. IBM Research whitepaper.
- MOOKERJEE, M., Vieira, D., Chan, M. A., Gil, Y., Goodwin, C., Shipley, T. F., and Tikoff, B. 2015. We need to talk: Facilitating communication between field-based geoscience. *GSA Today*, 25(11), 34-35.
- MOOKERJEE, M., Vieira, D., Chan, M. A., Gil, Y., Pavlis, T. L., Spear, F. S., and Tikoff, B. 2015. Field data management: Integrating cyberscience and geoscience. *Eos*, 96(20), 18-21.
- MUSEN, M. A. 2015. The Protégé project: A look back and a look forward. *AI Matters*, 1, 4. doi:10.1145/2557001.25757003.
- ONTOTEXT. 2014. *The Truth About Triplestores*. Ontotext.
- RASKIN, R., and Pan, M. 2005. Semantic web for earth and environmental terminology (SWEET). *Proc. of the Workshop on Semantic Web Technologies for Searching and Retrieving Scientific Data*, 25.
- ROBINSON, I., Webber, J., and Eifrem, E. 2015. *Graph Databases: New Opportunities for Connected Data*. O'Reilly Media, Inc.
- ROYO-LEÓN, M., Rodriguez, L. M., Gallardo, P., Gonzalez, T., Negron, R., Aguirre, D., and Fuentes, O. 2016. SEXWISE: An IBM Watson-Powered Mobile Application to Promote Sexual Education. In S. M. Computacionales (Ed.), *Tecnologías emergentes y avances de la computación en México - ENC 2016*, (pp. 205-210). Chihuahua, México.
- RUSSELL, S., and Norvig, P. 1995. *Artificial Intelligence: A modern approach*. (P. Hall, Ed.)
- SIMMONS, R. 1970. Natural language question-answering systems. *Communications of the ACM*, 13(1), 15-30.
- UNOCERO. 2017. *IBM Watson llega al Museo de Antropología*. Retrieved from UnoCero: <https://www.unocero.com/noticias/ciencia/ibm-watson-en-museo-antropologia/>
- VILLANUEVA-ROSALES, N., Cheu, R., Gates, A., Rivera, N., Mondragon, O., Cabrera, S., . . . Larios, V. M. 2015. A collaborative, interdisciplinary initiative for a smart cities innovation network. *IEEE First International Conference On Smart Cities* (pp. 1-2). IEEE. 

Este artículo es citado así:

Royo-León, M., D. D. Ramírez-Ochoa y A. J. Barroso-Barajas. 2018. Tendencias en computación: Web Semántica y Computación Cognitiva. *TECNOCENCIA Chihuahua* 12(1):19-26.
DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v12i1.128>

Resumen curricular del autor y coautores

MIGUEL ROYO LEÓN. Ingeniero en Sistemas Computacionales en Software por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) en 2006. Obtuvo la Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales por la misma Facultad en 2010. Se ha desempeñado en la industria en roles de Ingeniero de Soporte, Administrador de Sistemas, y Desarrollador de Software. En 2014 inicia estudios doctorales en Ciencias Computacionales en la Universidad de Texas en El Paso. Es Académico Asociado A en la Facultad de Ingeniería de la UACH desde 2015. Ha impartido cursos de Programación, Algoritmos e Investigación. Ha colaborado en 7 artículos de revistas arbitradas, 4 capítulos de libro, 3 artículos de congresos arbitrados y 4 posters. Ha colaborado en proyectos de investigación relacionados con Ciencias de la Tierra y Autismo. Sus intereses de investigación son la enseñanza de la computación, el desarrollo de software, y la web semántica.

DYNHORA DANHEYDA RAMÍREZ OCHOA. Ingeniero en Sistemas Computacionales en Hardware por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) en 2004. Obtuvo la Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales por la misma Facultad en 2010. Se ha desempeñado como técnico de videoconferencia en la Coordinación General de Tecnologías de la Información de la UACH. Es maestra de tiempo completo en la Universidad Tecnológica de Chihuahua (UTCH) desde 2006, y pertenece al Cuerpo Académico de Tecnologías de Seguridad Informática.

ALFONSO JOSÉ BARROSO BARAJAS. Ingeniero en Sistemas Computacionales en Software por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) en 2004. Obtuvo la Maestría de Sistemas Informáticos por la Facultad de Contaduría y Administración de la misma UACH en 2013. Se desempeñó en la industria como desarrollador de software contable. Es Profesor de Tiempo Completo de la Universidad Tecnológica de Chihuahua (UTCH), y pertenece al Cuerpo Académico de Tecnologías de Seguridad Informática. Es profesor de asignatura en la Facultad de Ingeniería de la UACH, impartiendo cursos de Programación. Desde 2017 se desempeña como CTO de la empresa PPAP Manager, una empresa de desarrollo de sistemas de gestión de calidad.