



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**“ESTUDIO DEL USO DE ASP COMO HERRAMIENTA DE  
MODELADO COMPUTACIONAL DE ALGUNOS PROCESOS  
COGNITIVOS MENTALES”**

Trabajo de Tesis para obtener el Título Profesional en  
**Ingeniería en Ciencias de la Computación**

Presenta  
**Rosa Elena Pérez Ramírez**

Asesora  
**Claudia Zepeda Cortés**

Coasesor  
**José Luis Carballido Carranza**

Puebla, Pue., México

Agosto 2012

# Agradecimientos

Gracias a la vida, al destino por darme esa familia. Gracias infinitamente a mi madre por sus horas de desvelo, por su mano suave siempre conmigo. Gracias a toda la gente que ha estado conmigo, que me ha visto reír, llorar, perder y ganar, a aquellos que son mis hermanos, mis amigos, mis compañeros del salón y de vida, a mis profesores, a quienes han creído en mí y me han apoyado, no hace falta mencionar sus nombre pues ustedes siempre están aquí conmigo. Hoy no solo soy una profesional sino soy una persona con mucho amor para ustedes.

Gracias a todos.

# Tabla de contenido

<b>Resumen</b> .....	4
<b>Introducción</b> .....	5
<b>Capítulo 1. Ciencia Cognitiva</b> .....	7
1.1 Introducción .....	7
1.2 Principales procesos cognitivos .....	8
1.3 Reseña histórica .....	9
1.4 Algunas perspectivas en el estudio de la Ciencia Cognitiva .....	15
1.5 Tópicos computacionales de la Ciencia Cognitiva .....	17
1.6 Impacto social y aplicaciones .....	18
1.7 Tendencias actuales y una mirada al futuro.....	20
<b>Capítulo 2. Modelos computacionales aplicados a procesos cognitivos</b> .....	21
2.1 Introducción .....	21
2.2 Funcionamiento general del cerebro.....	22
2.3 Factores relevantes en la modelación .....	25
2.3.1 Paradigmas del modelado computacional .....	25
2.3.2 Modelo computacional representacional .....	27
2.4 Arquitecturas cognitivas .....	29
2.4.1 Componentes generales .....	31
2.4.2 Algunas arquitecturas cognitivas .....	31
<b>Capítulo 3. Answer Set Programming</b> .....	36
3.1 Un Paradigma de la Programación Lógica: ASP .....	36
3.2 Solvers.....	38
3.3 Dominios de aplicación .....	39
3.4 Comparación con otros métodos .....	40
<b>Capítulo 4. Answer Set Programming: una herramienta para el modelado de procesos cognitivos</b> .....	41
4.1 En el dominio de la robótica.....	41
4.2 En el dominio de la música .....	42

4.3 En el dominio del diagnóstico médico .....	42
4.4 En el dominio de la configuración de sistemas informáticos .....	42
4.5 En el dominio de tutoriales de aprendizaje .....	43
4.6 En el dominio de la filogenia .....	43
4.7 En el dominio de la teoría de juegos .....	43
4.8 En el dominio de la planificación de compras .....	44
4.9 En el dominio de los planes de evacuación .....	44
<b>Conclusiones</b> .....	<b>45</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>47</b>

# Resumen

En este documento mostramos un panorama general de la Ciencia Cognitiva, encargada del estudio de los procesos realizados en la mente ó cerebro (vistos como un mismo concepto), revisando la historia exponemos el progreso de la Ciencia Cognitiva como una ciencia interdisciplinaria, hasta llegar a sus actuales contribuciones. Históricamente hablando se ha hecho una analogía entre el cerebro y el computador, actualmente esta analogía se presenta en el modelado de procesos cognitivos siendo la Inteligencia Artificial y la Computación las encargadas de desarrollar estos modelos mediante las arquitecturas cognitivas. Ya desde hace años las arquitecturas cognitivas son una herramienta que esquematizan la interpretación y representación del conocimiento de los diferentes procesos cognitivos, el desarrollo de las arquitecturas cognitivas se debe al progreso de las herramientas computacionales actuales, tanto software como hardware. Answer Set Programming es un paradigma de programación relativamente moderno, basado en la programación lógica y con un objetivo fundamental: la representación del conocimiento mediante semánticas para resolver problemas de búsqueda y optimización. De este modo, este documento presenta a Answer Set Programming como una herramienta computacional capaz, y novedosa para de modelar uno ó varios proceso cognitivos.

# Introducción

La principal característica que nos diferencia de los demás seres vivos es el tener un razonamiento inteligente, además de guiarnos por el instinto, contamos con ciertas capacidades: el habla, el lenguaje, la memoria, además de ser capaces de aprender y tomar decisiones. La Ciencia Cognitiva encargada del estudio de las operaciones mentales que nos permiten tener un comportamiento inteligente, se forma a partir del conocimiento adquirido de diversas disciplinas: Filosofía, Psicología, Antropología, Inteligencia Artificial, Lingüística y Neurociencia. Por su parte, la Computación y la Inteligencia Artificial apoyan a la Ciencia Cognitiva con la representación e interpretación del conocimiento en modelos computacionales para resolver problemas del mundo real con un razonamiento inteligente (Gardner, 1985).

El objetivo del trabajo a continuación es el análisis de diferentes enfoques basados en Answer Set Programming útiles para el modelado computacional de algunos procesos cognitivos mentales, para ello se presenta la siguiente recopilación de temas acerca de la Ciencia Cognitiva, área de donde surgió la analogía del cerebro como un procesador de información.

En breve el Capítulo 1 se presenta una colección de temas que abordan a la Ciencia Cognitiva: desde su definición, progreso de sus raíces colaborativas, enfoques, hasta impacto social, tendencias actuales y visión a futuro que marcan el camino en la investigación de la Ciencia Cognitiva.

En el Capítulo 2 se incluye una resumida exposición del funcionamiento del cerebro, sirviendo como referencia para presentar la construcción de la analogía del cerebro con el computador mediante modelos computacionales con dos paradigmas diferentes: Simbolismo y Conexionismo. Estos modelos computacionales son reflejados en arquitecturas cognitivas que especifican el procesamiento de la información.

En el Capítulo 3 y 4 se hace referencia al uso de Answer Set Programming como una herramienta computacional novedosa. En el Capítulo 3 se expone el enfoque teórico de Answer Set Programming: el paradigma dentro de la Programación Lógica para representar la información mediante programación declarativa. El Capítulo 4 se muestra a Answer Set Programming como una herramienta computacional práctica, útil y novedosa en la modelación de procesos cognitivos en un ambiente computacional, mostrando casos específicos donde la aplicación de Answer Set Programming es la respuesta del problema.

# Capítulo 1

## Ciencia Cognitiva

### 1.1 Introducción

A través de la historia el concepto de conocimiento nos ha dejado múltiples teorías acerca del conocimiento, pero al fin y al cabo, el conocimiento humano es un sistema conceptual y lingüístico que nos permite manejar el flujo de la experiencia (Blasco & Grimaltos Mascarós, 2004).

La cognición humana es la característica que nos diferencia de los demás seres vivos, y se refiere a los procesos mentales que incluyen la adquisición de conocimiento y su comprensión (Cherry, 2012).

La Ciencia Cognitiva (Cognitive Science, CS) es la ciencia multidisciplinaria que explica los procesos mentales y se basa en la construcción de una teoría coherente, universal y unificada para comprender el conocimiento. La CS es el resultado de la colaboración de disciplinas como la filosofía, la psicología, inteligencia artificial, antropología, neurociencia y lingüística en la formación de bases empíricas y científicas que responden a preguntas entorno del conocimiento: concepto, componentes, fuentes, desarrollo e implementación, de manera teórica, experimental, metodológica, computacional, modelada y aplicada (Medina, La ciencia cognitiva y el estudio de la mente, 2008).

La CS estudia los procesos cognitivos, que son las operaciones mentales para alcanzar el conocimiento; los procesos cognitivos que destacan son: percepción, memoria, atención, aprendizaje, lenguaje y habla. La CS reflexiona cuestiones generales del conocimiento: de dónde viene, dónde se almacena, qué tiempo se almacena y cómo podría perderse; también estudia aspectos individuales: quién aprende temprano, quién tiene dificultad para adquirir el conocimiento, lo que sucede cuando un individuo sufre un daño cerebral, etc. La

CS tiene la facultad de investigar la naturaleza de la misma actividad del saber: porqué queremos saber, cuáles son las limitantes del saber, los límites del conocimiento científico sobre el conocimiento humano, entre otras interrogantes (Gardner, 1985).

## 1.2 Principales procesos cognitivos

Antes de continuar, debemos conocer a grandes rasgos los principales procesos cognitivos que el cerebro humano realiza y que estudia la CS.

Proceso cognitivo	Descripción
<b>Percepción</b>	Capacidad de recepción de información mediante estímulos para interpretarla, seleccionarla y organizarla.
<b>Memoria</b>	Proceso de retención de información y reconstrucción de experiencias pasadas.
<b>Atención</b>	Capacidad de centrarse y concentrarse en un aspecto de su entorno sin tener en cuenta otros.
<b>Lenguaje</b>	Capacidad de adquirir y usar sistemas complejos de comunicación.
<b>Toma de Decisiones</b>	Proceso de elección de la opción preferida (ó curso de acciones) entre un conjunto de opciones sobre criterios.
<b>Aprendizaje</b>	Capacidad de desarrollar normas de clasificación de la experiencia.

Tabla 1. Descripción de los principales procesos cognitivos

### **1.3 Reseña histórica**

Las raíces del estudio del conocimiento en diversas disciplinas dan la plataforma a la formación de una nueva ciencia: la Ciencia Cognitiva, lográndose que a través de tiempo y con la integración de teorías, comunicación de investigadores con objetivos comunes (cada uno dentro de su área) den lugar a una ciencia formal y dedicada. A continuación presentamos un pasaje histórico basado en (Gardner, 1985).

Desde la Antigua Grecia, filósofos como Platón y Sócrates realizaron diversas reflexiones del conocimiento humano dando lugar a muchas teorías filosóficas acerca del funcionamiento del pensamiento. Los escritos de Aristóteles fueron las bases empíricas para la búsqueda de una explicación racional para el conocimiento. Posteriormente llegaron dos movimientos fundamentales y contrastantes de la concepción del conocimiento humano en la llamada Edad Moderna: por un lado el Empirismo, que nos dice que el conocimiento se adquiere a través de la percepción sensorial, es decir a través de la experiencia, defendido por David Hume, John Locke, George Berkeley, Francis Bacon, entre otros, y por el otro lado el Racionalismo que propone la búsqueda de un modelo formal, conceptual y lógico del conocimiento, detrás de éste movimiento estuvieron personajes como René Descartes, Gottfried Leibniz, Blaise Pascal, Emmanuel Kant, entre otros. Esencialmente estos dos movimientos nos dejaron ideas acerca del funcionamiento intuitivo de los sentidos y la deducción mediante demostraciones con conceptos lógicos y estructurales.

Con el paso del tiempo: lógicos, matemáticos, filósofos, psicólogos, lingüistas, entre otros investigadores, causaron una revolución intelectual, interesados en el saber del conocimiento e inconscientemente creando herramientas para el estudio del conocimiento. En la primera mitad del siglo XIX, el movimiento denominado Conductismo, fundado por John Broadus Watson, incluía en sus filas a personajes como Iván Pavlov, Edward Lee Thorndike, Karl S. Lashley y otros, ellos estudiaron a los procesos cognitivos como propiedades en función de la conducta, ampliando con sus experimentos en animales y

mediciones del comportamiento humano observable, la gama de información acerca del conocimiento, se enfocaron en tratar procesos cognitivos como el aprendizaje, memoria y percepción. Así también en la Psicología Experimental destacó Frederic Charles Barlett, fundador de la Psicología Cognitiva, producto de la concepción conductista de la mente, siendo elemental para la Ciencia Cognitiva, puesto que estudia la resolución de problemas, el razonamiento, la percepción, la toma de decisiones y la adquisición lingüística. Durante muchos años se usó la lógica del razonamiento silogístico desarrollada por Aristóteles, hasta 1879 que Friedrich Ludwig Gottlob publicó las bases de la lógica formal, que implicaba la manipulación de símbolos abstractos, trabajo en el cual Bertrand Russell y Alfred North Whitehead se basan para crear *Principia Mathematica*, publicado en 1910, y logrando cambiar los conocimientos matemáticos de la época. Así también, en 1907 Andréi Markov introduce en la probabilidad, un tipo especial de procesos estocásticos discretos, importante hasta hoy día para la simulación.

Tras ocurrir la Primera Guerra Mundial, los soldados de guerra regresaron a casa con daños de todo tipo, incluyendo cerebrales, y paradójicamente proliferaron las investigaciones del cerebro; se analizaban a víctimas de daños cerebrales con enfermedades como por ejemplo la afasia y agnosia<sup>1</sup>, además de estudiar zonas cerebrales que tienen impacto en ciertos procesos cognitivos mediante experimentos estímulo-respuesta. Alexander Luria, neuropsicólogo centrado en la afasia, realizó diversas investigaciones en colaboración con Lev Vygotsky y Alexei Nikolaevich Leont'ev para lograr en 1924 el proyecto "*Psicología histórico-cultural*", que presentó por primera vez, el papel de la cultura sobre el lenguaje en el desarrollo de funciones mentales superiores. Surgieron muchos centros de investigación como el Centro de Investigación de Psicología Aplicada donde Kenneth James Williams Craik desarrolló las bases para el concepto de modelos mentales.

---

<sup>1</sup> Afasia y la agnosia son trastornos cerebrales, el primero causado por lesiones cerebrales que ocasiona deficiencias del control del lenguaje, y el segundo deficiencias al reconocer los objetos.

En el campo de la lógica el trabajo continuaba, y en 1931 Kurt Gödel presenta su teorema de la incompletitud, que nos revela que "*el conjunto de las verdades aritméticas no se pueden enumerar, uno por uno*" (Shalizi, 2009), hecho que trajo un giro en las matemáticas, y en la computación. Más adelante en 1936 Alan Turing, presentó nociones teóricas de una máquina que mediante una cinta infinita y 4 tipos de movimientos para su lectura, podría ejecutar cualquier tipo de programa expresado en código binario, fue llamada Máquina de Turing, y es en 1950 que se presentó la prueba de Turing, la cual es pieza importante para Inteligencia Artificial, puesto que mediante la propuesta se demuestra la inteligencia de una máquina. A finales de 1940 Herbert Alexander Simon uno de los fundadores de la Ciencia Cognitiva, trabajó en aspectos de lógica simbólica con el trabajo de Whitehead, Russell y Frege.

Como vimos, desde 1940 en diversas disciplinas se iniciaron las investigaciones acerca de la mente ya no solo por la Psicología, muchas teorías y reuniones en materia de aspectos del conocimiento, entre ellas destacando el Symposium Hixon con ponentes como Newman, Wiener, McCulloch, por solo mencionar a algunos; aquí se formó la fundación Macy con la cual continuaron las reuniones, en las que se fueron agregando a más miembros de otras áreas como Gregory Bateson de antropología con aportes acerca de la esquizofrenia, George Miller y Jerome Bruner, investigadores del área de psicología.

Durante la Segunda Guerra Mundial diversos científicos fueron encomendados por el gobierno a desarrollar avances tecnológicos, tal es el caso de Norbert Wiener, encargado de la construcción de un misil con un sistema de control, trabajo que le permitió hacer una analogía entre los dispositivos ingenieriles y el proceso homeostático del sistema nervioso, este hecho fue plasmando en una publicación en la cual por primera vez se hacía referencia al término Cibernética, que centra el estudio de sistemas de control y comunicación autorregulados. Hacia 1948, una vez terminada la Segunda Guerra Mundial, se dieron cita grandes investigadores de la época en una reunión llamada *Cerebral Mechanism in Behavior*, conferencia del Simposim de Hixon, (traducido al español

es Mecanismo del Comportamiento Cerebral) entre ellos John Von Newman, presentando en aquel tiempo un tema de ciencia ficción: la comparación entre el cerebro humano y un dispositivo electrónico, otro presentador fue Warren McCulloch, matemático y neurofisiólogo que comentó sobre cómo el cerebro procesa la información, y mencionó la posibilidad de aprovechar ciertos paralelismos entre el sistema nervioso y los dispositivos lógicos con el fin de averiguar cómo es que percibimos el mundo.

McCulloch con el apoyo de Walter Pitts aportaron las bases de modelamiento de redes neuronales: un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la interconexión de neuronas de una red; con mociones de éste trabajo Donald Hebb desarrolló sus ideas sobre el aprendizaje neuronal, y en 1958 Roseblatt desarrolló el perceptrón simple, y fue en 1960 que Widrow y Hoff desarrollaron la primera aplicación industrial de la redes neuronales.

John Von Newman siendo colaborador del equipo de construcción de la ENIAC, basado en la idea de Turing, en 1944 desarrolla el concepto de memoria interna en un esquema general al que le dio su nombre: arquitectura de Newman, en el cual describía la organización de módulos de un ordenador; siendo la arquitectura de Newman, la arquitectura propia de ENIAC.

Fue en 1949 que Warren Weaver y Claude E. Shannon presentan la teoría de la información, relacionando las leyes matemáticas que rigen la representación, transmisión, y el procesamiento de la información de los sistemas de comunicación.

Noam Chomsky, también fundador de la CS, dedicado a la lingüística, en 1957 presenta su tesis doctoral, no solo transformando la lingüística, sino que su teoría del lenguaje cambia la visión de los lenguajes de programación.

Fue e 1960 que George Miller junto con Jerome Bruner fundaron el Centro de Estudios Cognitivos. Y en 1957 John McCarthy y Marvin Minsky formaron el Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Tecnología de Massachuset.

Algunos personajes poseedores del premio Turing por sus aportaciones a la Computación y a la Ciencia Cognitiva fueron: en 1969 Minsky, por sus contribuciones al desarrollo de la descripción gráfica simbólica, la representación del conocimiento, la semántica computacional, los aprendizaje simbólico y conexionista, en 1971 McCarthy, el creador del lenguaje LISP, por sus colaboraciones a la Inteligencia Artificial, en 1975 Allen Newell, creador de una teoría cognitiva unificada llamada SOAR, y Herbert Simon recibieron juntos ésta presea. Siendo SOAR trabajo de inspiración para John R. Anderson, que en 1973 inicia el desarrollo de ACT-R, otra arquitectura cognitiva que describe como funciona el cerebro (Gardner, 1985).

El trabajo científico en las investigaciones de la mente y del pensamiento inteligente, ha sido arduo, evolutivo, colaborativo pero todavía falta mucho por hacer, así es importante tener un panorama general del trabajo realizado de la CS, para continuar la línea de trabajo y no olvidar que la CS es una ciencia interdisciplinaria.

El siguiente cronograma expresa el resumen de los sucesos históricos más relevantes que han dejado huella en la Ciencia Cognitiva.

Época	Año	Acontecimiento
<b>Edad Antigua (4000 a.c.-476 d. C.)</b>		Sócrates y Platón con aportes en la epistemología y filosofía del lenguaje
		Aristóteles, padre fundador de la lógica
<b>Edad Moderna (1492 -1789)</b>		Surgen dos corrientes fundamentales: Empirismo y Racionalismo
	1879	L. Gottlob publicó las bases de la lógica formal
	1907	Surgen Cadenas de Markov
	1910	B. Russell y A. North Whitehead crean <i>Principia Mathematica</i>
<b>Primera Guerra Mundial (1914 -1918 )</b>	1913	J. Watson inaugura la Escuela Psicológica Conductista
	1924	A. Luria, L. Vygotsky y A. Nikolaevich logran el proyecto <i>Psicología histórico-cultural</i>
	1931	Gödel presenta el teorema de la Incompletitud

Época	Año	Acontecimiento
	1936	Presentación teórica de la máquina de Turing
	1940	Simposim de Hixon
<b>Segunda Guerra Mundial (1939-1945)</b>	1943	McCulloch, Walter Pitts presentan primeros modelos teóricos de Redes Neuronales Artificiales
	1946	Arquitectura de Von Newman en la ENIAC
	1948	Simposium de Hixon presenta la conferencia Cerebral Mechanism in Behavior reúne a quienes serían fundadores de la CS
	1948	Teoría de la Información por Shannon y Wevear
	1948	Norbert Wiener usa por primera vez el término Cibernética
	1955	Minsky recibe premio Turing por contribuciones al desarrollo de la semántica computacional
	1957	Chomsky presenta una revolucionaria Teoría Gramatical
	1969	McCarthy recibe el premio Turing por sus colaboraciones a la Inteligencia Artificial
	1971	Allen Newell y Simon recibe premio Turing
	1975	John R. Anderson inicia el desarrollo de ACT-R

Tabla 2. Cronograma de los principales eventos históricos de la Ciencia Cognitiva

## **1.4 Algunas perspectivas en el estudio de la Ciencia Cognitiva**

Siendo el ser humano un ser complejo, no aislado y con creencias, posee una mente a estudiar desde diversas perspectivas. Los científicos que trabajan en la Ciencia Cognitiva discuten con respecto al tratamiento de ciertos aspectos de la mente humana en mayor, menor o nula importancia dentro de sus investigaciones, los cuales se presentan a continuación (Cacioppo, 2006) :

- Aspecto biológico-neurológico.

El análisis se realiza desde el punto de vista biológico ó neurológico, tomando en cuenta la naturaleza física del cerebro humano y características personales como edad, diversas enfermedades, zonas cerebrales en función, entre otros.

- Aspecto sociológico-cultural.

El estudio de la investigaciones regidos por la parte social, cultural, histórico–evolutivo y valores humanos del sujeto a analizar, examinando aspectos como la moral, el comportamiento social-evolutivo, el comportamiento en un grupo (cooperación, competencia, altruismo, roles sociales), el enfoque occidental-oriental, entre otros.

- Aspecto afectivo ó emocional.

Intervienen en las investigaciones los estados de ánimo (felicidad, tristeza, angustia, depresión, etc.,) del paciente.

- Aspecto religioso

Algunos investigadores de la Ciencia Cognitiva y de la Filosofía realizan proyectos reforzando los fundamentos empíricos de la CS con aspectos de la religión (Barrett & Trigg, 2012) .

En (Andler, 2005) y (Riegler, 1998) se exponen perspectivas limitantes de la CS con algunas cuestiones como las siguientes:

- La complejidad del cerebro
- La gran flexibilidad del pensamiento humano
- La aparente paradoja de una mente que se comprende a sí misma
- Variables a manipular para lograr una teoría de la cognición unificada
- Carácter cualitativo de nuestras experiencias
- Limitantes de los dispositivos computacionales al desarrollar modelos que simulen el comportamiento cerebral.

Sin embargo la aproximación interdisciplinaria y el uso de la Inteligencia Artificial para construir sistemas inteligentes abren nuevas perspectivas para un mejor conocimiento de la mente humana.

## 1.5 Tópicos computacionales en la Ciencia Cognitiva

En la Ciencia Cognitiva el objetivo principal es el estudio de los procesos cognitivos: cómo es que percibimos, pensamos, recordamos, entendemos el lenguaje, entre otros fenómenos mentales y lograr modelos computacionales cuya implementación permita lograr dotar a las máquinas de inteligencia (Martínez Luaces, 2008).

Para ayudar a que la CS logre su objetivo, la Computación y la Inteligencia Artificial aportan bases en importantes tópicos de la CS, por mencionar algunos enlistamos los siguientes:

- Representación del conocimiento
- Procesamiento en la memoria
- Aprendizaje
- Planificación
- Resolución de problemas computacionales clásicos
- Percepción
- Entendimiento del lenguaje natural
- Sistemas distribuidos
- Razonamiento
  - Inductivo
  - Deductivo
  - Abductivo
- Reconocimiento de voz
- Reconocimiento de patrones
- Toma de decisiones
- Simulación
- Web Semántica

## 1.6 Impacto Social y aplicaciones

La Ciencia Cognitiva ha causado revuelo social: la creación de grupos sociales que reúnen a investigadores de la CS, la expansión de diversas revistas de la CS y otros fenómenos como la oferta de nuevas carreras para formar profesionistas enfocados en la CS. Existe una lista en aumento de Universidades que ofertan carreras enfocadas a la Ciencia Cognitiva (GradSchools.com, 2012). En las principales universidades de Estados Unidos: Universidad Tecnológica de Massachusetts (Brain + cognitive sciences, 2012), Universidad Stanford (Stanford Center for mind, brain and Computation, 2012), Universidad de Harvard (Mind / Brain / Behavior, 2012), solo por mencionar algunas, ya ofertan carreras a diversos niveles.

La CS como tal, es un área relativamente joven sin embargo con el paso del tiempo se ha incrementado el número de publicaciones realizadas en revistas especializadas y no especializadas en el área de la CS. Consideradas como las revistas de mayor impacto social por (University of Massachusetts Amherst, 2012), los siguientes títulos figuran en la clasificación de las más citadas:

- *Annual Review of Psychology*
- *Archives of General Psychiatry*
- *Behavioral and Brain Science*
- *Psychological Bulletin*
- *Trends in Cognitive Science*
- *American Journal of Psychiatry*
- *Personality and Social Psychology Review*
- *Advances in Experimental Social Psychology*
- *American Psychologist*

Pero no solo los investigadores han sido parte de la evolución de la Ciencia Cognitiva, también los usuarios finales, quienes reciben los resultados de las investigaciones en aplicaciones. A continuación presentamos algunas de las muchas aplicaciones que han causado bienes a la sociedad (Carnegie Mellon University, 2012).

- Entornos de realidad virtual
- Tutores cognitivos
- Ayuda en la decisión en las directrices para el interrogatorio de testigos oculares
- Neuro-marketing
- Reconocimiento y síntesis de voz
- Control sensorial y control motriz
- Simuladores de vuelo
- Videojuegos

Todas aplicaciones de la CS brindan apoyo en diversas áreas como medicina, aeronáutica, educación, mercadotecnia, entre otras, y ayudan al desarrollo de tecnologías como dispositivos móviles, videojuegos, dispositivos de apoyo para discapacitados (prótesis), entre otros. Consumando así la importancia social de la Ciencia Cognitiva.

## **1.7 Tendencias actuales y una mirada al futuro**

Desde la llegada de la Ciencia Cognitiva se han experimentado cambios propios del progreso de la CS y en los conceptos básicos sobre los procesos cognitivos.

Extraemos de (Westbury & Wilensky, 1998) las tendencias actuales más destacadas que son:

- Aumento del desarrollo de modelos distribuidos de la mente
- La integración de la Neurociencia a la Ciencia Cognitiva y la aparición de la Psicología Evolutiva
- La reconsideración de la función del contexto (histórico, social, cultural y emocional) de la función cognitiva
- Uso de la nanotecnología
- Uso de supercómputo en aplicaciones cognitivas y simulación

El mayor desafío para la CS es recordar las metas y objetivos del estudio de la mente, manteniéndonos al margen de los descubrimientos científicos y los nuevos avances tecnológicos para romper nuevas fronteras.

# Capítulo 2

## Modelos computacionales aplicados a procesos cognitivos

### 2.1 Introducción

El estudio de cuestiones esenciales de la naturaleza del conocimiento desarrollado en el cerebro, necesitan de la experimentación plasmada en un marco teórico que postule la existencia de representaciones mentales y procesos cognitivos, una manera de lograr este marco teórico es el desarrollo de modelos cognitivos análogos a los procesos cognitivos. Así el razonamiento deductivo, la formación y el entendimiento de conceptos e imágenes mentales, la resolución de problemas han sido las bases para los investigadores que han creado modelos computacionales que simulan distintos aspectos inteligentes del desempeño humano (Medina, Realidad Mental en la Ciencia Cognitiva, 2010).

Decimos que existe una analogía entre el funcionamiento del cerebro y el del computador en el sentido que ambos procesan información, siendo los modelos computacionales el resultado de la especificación de éste procesamiento. Entre los años de 1940 a 1960 el pensamiento era visto como un procesamiento de símbolos, siendo ésta la metodología de la Inteligencia Artificial Clásica, pero unos años más tarde con el surgimiento de las redes neuronales artificiales la filosofía cambio a un pensamiento con paradigma conexionista (Gärdenfors, 1999).

## 2.2 Funcionamiento general del cerebro

Puesto que el cerebro es objeto de estudio de la CS, en seguida a grandes rasgos describimos los componentes y el comportamiento del cerebro.

El cerebro humano tiene tres componentes principales: cerebelo, tallo y cerebro.

- Cerebelo es importante para el equilibrio, control motriz, e implicado en procesos cognitivos como atención, lenguajes y funciones emocionales como la respuesta al miedo y al placer, además de participar en la elaboración de memorias de procedimiento.
- Tallo cerebral es el enlace de comunicación entre el cerebelo, la médula espinal y los nervios periféricos.
- Cerebro esta formado por dos hemisferios: izquierdo y derecho, unidos por el cuerpo calloso (haz fibras nerviosas) y por comisuras. El cerebro esta protegido por la corteza cerebral (o neo córtex) envolviendo a otros órganos como el tálamo (transmite información desde el tronco del encéfalo y médula a corteza cerebral), hipotálamo y glándula pituitaria (control de funciones viscerales: temperatura, respuesta a comportamientos como alimentación, agresión y placer). La corteza cerebral se divide en cuatro regiones:
  - Lóbulo frontal implicado en el pensamiento consciente y funciones mentales superiores como la toma de decisiones. El lóbulo frontal contiene a la corteza prefrontal, teniendo un papel importante en el procesamiento de recuerdos a corto plazo y la retención de recuerdos de largo plazo (no basado en tareas).
  - Lóbulo parietal participa en la integración de información sensorial y manipulación del sentido espacial y navegación.

- Lóbulo temporal participa con los sentidos del olfato y sonido, la transformación semántica en el habla y la visión, y es pieza clave para la formación de memoria a largo plazo. La parte interna del lóbulo temporal es denominado lóbulo temporal medial (sistema límbico) y se cree que esta encargado de la memoria declarativa y la memoria episódica. Lóbulo temporal medial incluye a los siguientes:
  - Hipocampo básico para la función de la memoria a corto plazo, memoria espacial y comportamiento.
  - Amígdala procesamiento y memoria de reacciones emocionales y comportamiento social y sexual, regulando el sentido del olfato.
  
- Lóbulo occipital involucrado en el sentido de la vista

El cerebro humano esta constituido por neuronas, que son las células del sistema nervioso. Alrededor del 90% de las neuronas están en la corteza cerebral. Cada neurona tiene una estructura conformada por soma (cuerpo de la célula que contiene el núcleo), axón (filamento ramificado celular) y dendritas (filamentos largos y pegados al cuerpo celular). Cada neurona puede formar enlaces individuales con miles de otras neuronas, formando redes neuronales. Una neurona es una célula eléctricamente excitable y mediante un proceso electroquímico de señalización transmite información, esto en un proceso denominado sinapsis. Mientras una señal sea más enviada entre dos neuronas, más fuerte será la conexión entre éstas. Las conexiones entre las neuronas no son estáticas y cambian en función del tiempo, así con cada nueva experiencia y cada evento recordado, el cerebro ligeramente cambia la estructura física de las conexiones (Mastín, 2010).

Ilustramos de una manera gráfica los principales procesos cognitivos mentales en la siguiente imagen modificada y tomada de (The Lobes of Brain, 2012) :

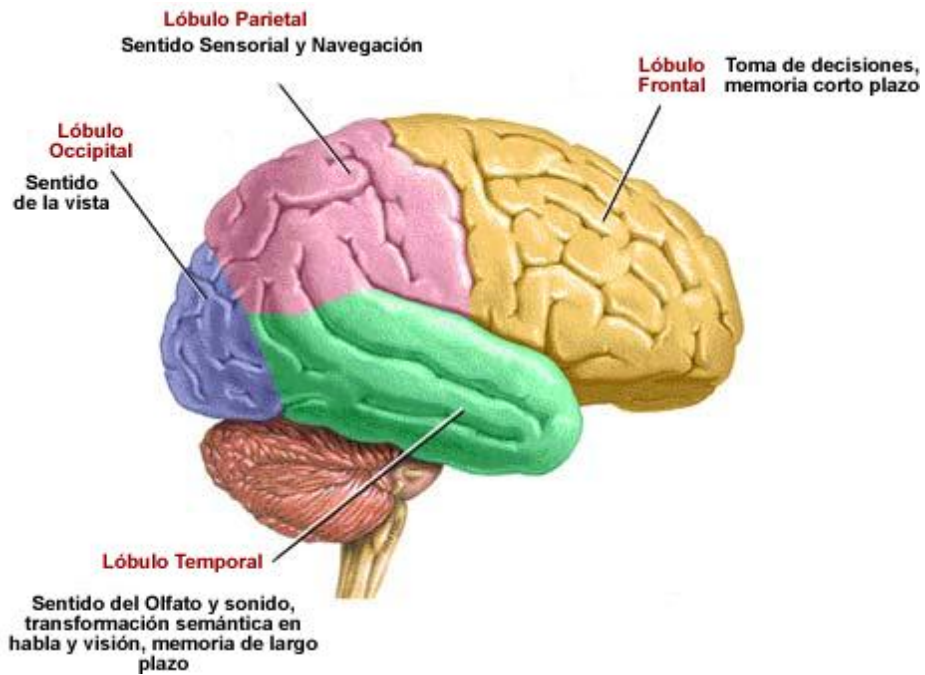


Figura 1. Lóbulos del cerebro y sus principales procesos cognitivos.

Hasta aquí hemos recapitulado de una manera breve el funcionamiento del cerebro, para facilitar la analogía que se hace en los enfoques de la CS involucrando algunos conceptos relacionados con el procesamiento de la información.

## **2.3 Factores relevantes en la modelación**

Los seres humanos procesamos modelos mentales, siendo éstos análogos a estructuras para representar estados, eventos u objetos del mundo. Para comprender un sistema físico o fenómeno natural, involucra tener un modelo mental del sistema que le permite a la persona explicarlo y hacer previsiones con respecto a él. En general en las ciencias exactas, se presentan los modelos conceptuales, para facilitar la comprensión y la enseñanza de sistemas físicos o de fenómenos naturales. Es decir, los investigadores expresan modelos mentales mediante modelos conceptuales (Moreira, Greca, & Rodríguez Palmero, 2010).

### **2.3.1 Paradigmas de modelado computacional**

Históricamente hemos visto, como en la CS existen dos grandes paradigmas al modelar la información de los modelos mentales, en seguida se describen las características de ambos paradigmas.

#### **Modelos conexionistas**

Los modelos conexionistas (Connectionist Models, CM) ó también llamados modelos de procesamiento distribuido en paralelo, se basan en el uso de la simulación de redes neuronales, con el supuesto de que la cognición inicia a partir de un gran número de unidades de procesamiento simples, haciendo analogía al gran número de neuronas que el cerebro contiene. El paradigma de los CM es una representación mental activa: un patrón de activación sobre el conjunto de unidades de procesamiento en el modelo. El procesamiento se realiza a través de la propagación de activación entre unidades por medio de conexiones. El conocimiento que se genera en este proceso consiste en los valores de los pesos de conexión y el aprendizaje se produce a través de la adaptación gradual de los pesos de la conexión.

Los CM realizan tareas como la percepción del ambiente, interpretación, recuperación de información, percepción y comprensión del lenguaje, a partir de inferencias. Además, cabe notar, que los CM son una abstracción de la cognición

a nivel estructural así tienen como logros el razonamiento implícito ó la derivación algorítmica, pero frente a un razonamiento verbal sería más práctico el uso de un modelo simbólico (Wilson & Keil, 1999).

## **Modelos simbólicos**

Los modelos simbólicos (Symbolic Models, SM) son mecanismos de la cognición humana que adoptan la forma de programas computacionales, son diseñados como un conjunto de procesos primitivos de cálculo. Un modelo realiza una tarea cognitiva específica o clase de tareas y produce un comportamiento que constituye un conjunto de predicciones que se puede comparar con los datos de la acción humana. Realizar tareas como resolución de problemas, comprensión de lenguaje, tareas de la memoria, interacción hombre-computadora son propias de los SM. Es importante apreciar que el paradigma que rige a los SM difiere de otras teorías en su enfoque en la funcionalidad y completitud computacional.

La idea central de los SM es que la cognición es un tipo de cálculo, se pretende hacer una analogía de la cognición humana con el desarrollo de procesos dinámicos computacionales en los cuales se realizan una tarea con una base formal. Un SM se considera así, si tiene las propiedades de un sistema simbólico en el sentido técnico de Newell y Simon, siendo una reformulación de la máquina de Turing que identifica símbolos como pieza central de la cognición compleja. El requisito es que el sistema sea capaz de manipular y componer símbolos y patrones de símbolos. Un método importante para observar el nivel de la abstracción es el uso de lenguajes de programación diseñados para el modelado cognitivo (Wilson & Keil, 1999).

### **2.3.2 Modelo computacional representacional**

Actualmente abunda la teorización y los modelos computacionales cognitivos (basados en diferentes teorías unificadas), el método principal sigue siendo la experimentación en individuos, y no existe consenso en cuanto a la naturaleza de las representaciones y los procesos computacionales que constituyen el pensamiento. Presentamos a continuación el modelo computacional representacional por ser la analogía más dominante en la Ciencia Cognitiva, basado en el paradigma de los modelos simbólicos (Thagard, 2008).

El modelo computacional representacional adopta el supuesto de que en la mente existen representaciones mentales operadas por procesos cognitivos obteniendo como resultado el pensamiento, haciendo la analogía con un programa que contiene estructuras de datos operados por algoritmos y logrando la ejecución del programa.

Los modelos computacionales son útiles para la investigación teórica de los procesos mentales. Para poder comprender los modelos formulados por la CS presentamos algunos elementos fundamentales, y sus relaciones:

- Teoría cognitiva. Postula una serie de estructuras representacionales y un conjunto de procesos que los manipulan a estas estructuras.
- Modelo computacional. Esquema de la abstracción de la teoría cognitiva, que incluye representación, interpretación y organización de las estructuras representacionales y conjunto de procesos en el ámbito computacional.
- Programa. Implementación del modelo computacional en un lenguaje de programación.
- Plataforma. Arquitectura de la computadora en la que se ejecuta el Programa.
- Simulación. Proceso de ejecutar varias veces el programa computacional análogo al sistema real y analizar el comportamiento y/o evaluar nuevas estrategias.

Cabe mencionar que arquitectura cognitiva no se menciona en la lista de arriba, con el objetivo de profundizar este tema más adelante y para solo dejar una vaga idea en este apartado presentamos los siguientes párrafos.

*“Las distinciones entre la arquitectura, la teoría, el modelo y la simulación es necesario examinar, en particular a lo largo la dimensión de dominio-dependencia y el nivel de especificación” (Grant, 1995).*

En la literatura es frecuente usar indistintamente el término arquitectura cognitiva o modelo, más adelante se aclara este concepto, mientras analicemos la siguiente analogía. La analogía es entre la arquitectura cognitiva y la arquitectura de estructuras físicas, donde cada una con su estilo toma la abstracción de elementos comunes y se presentan en una gran variedad de formas. En el caso de la arquitectura de una casa, para construir una pared se pueden tomar diversos materiales, construir con ladrillo, madera, etc., la analogía en el menor nivel sería la elección del lenguaje de programación para realizar una arquitectura cognitiva. En este mismo nivel podemos elegir el enfoque (simbólico, conexionista o híbrido) que queremos para nuestra arquitectura cognitiva. Simon Grant nos aclara: *“Un estilo arquitectónico o la tradición se puede ver como que existe una abstracción de los elementos comunes de un conjunto potencialmente grande de casas reales o posibles y de la misma manera se podía ver una arquitectura cognitiva como una abstracción de muchos modelos cognitivos”.* (Grant, 1995)

## 2.4 Arquitecturas cognitivas

A continuación trataremos de manera más profunda el término arquitectura cognitiva y en breve algunos puntos de la arquitectura cognitiva como características generales, descripción de dos arquitecturas cognitivas, haciendo mención de otras arquitecturas cognitivas.

El término de arquitectura cognitiva (Cognitive Architecture, CA) es propuesto por Newell en 1971. Aquí revisamos algunas definiciones del término arquitectura cognitiva de diversos autores:

*“La arquitectura cognitiva consiste en la búsqueda de un modelo de mecanismos que explique como resulta posible que sistemas u organismo como nosotros mismos sean capaces de exhibir una conducta tan variada”* (Broncano Rodríguez, 1995).

*“Una arquitectura cognitiva especifica la infraestructura subyacente de un sistema inteligente”* (Langley, E. Laird, & Rogers, 2002).

*“Una arquitectura cognitiva es un intento de construir una teoría integrada que abarca un amplio espectro de lo que se sabe acerca de la cognición humana y el rendimiento”* (Byrne, Cognitive Architectures in HCI: Present Work and Future Directions., 2005).

*“La arquitectura cognitiva es definida como las estructuras, herramientas, técnicas y métodos que pueden apoyar al diseño y construcción de modelos de la cognición”* (Grant, 1995).

En (Wilson & Keil, 1999) nos dice que arquitectura cognitiva se refiere al diseño y organización de la mente. La CA nos ofrece un estudio exhaustivo de los sistemas cognitivos, una descripción de las funciones y capacidades de cada uno de los sistemas cognitivos, y un plan para integrar éstos sistemas. Estas teorías se han diseñado en torno aun pequeño conjunto de principios de funcionamiento.

Por lo que ahora definimos arquitectura cognitiva como el marco que proporciona la especificación en el cual se procesa la información, responsable de restricciones fundamentales de la conducta inteligente del sistema, siendo el elemento central de cualquier teoría de la cognición, capaz de materializarse en un código ejecutable.

Cabe resaltar que las arquitecturas cognitivas avanzan con la evolución de las arquitecturas de las computadoras modernas (se tiene ahora mayor grado de paralelismo).

El objetivo principal de una arquitectura cognitiva es el de ser una herramienta de ingeniería que adquiere, representa, organiza y usa el conocimiento, habiendo formas diferentes de lograrlo entre diversas arquitecturas cognitivas.

*“Los aspectos humanos responsables de la cognición, son estructuras generales relativamente constantes en el tiempo y relativamente independientes de las tareas”.* (Byrne , Computational Modeling in Human Factors/Human-Computer Interaction., 2005)

Siendo que las arquitecturas cognitivas son el molde para el proceso de la información de sistemas inteligentes, es importante hacer notar que las arquitecturas cognitivas no siguen el mismo camino que los sistemas expertos, (dedicados a un área específica) sino intentan cubrir una amplia gama de tareas y áreas, además de presentar módulos ó niveles de comportamiento para tareas específicas, esto nos mencionado en el párrafo anterior.

## **2.4.1 Componentes generales**

De (Langley, E. Laird, & Rogers, 2002) obtenemos los componentes básicos típicos de una arquitectura cognitiva:

- Estructura organizativa. Formada por las memorias a corto y largo plazo encargadas de almacenar y organizar las creencias, objetivos y conocimiento mediante estructuras mentales a gran escala.
- Procesos. El proceso funcional que opera sobre la estructura organizativa, incluye los mecanismos de ejecución que lo utilizan y los mecanismos de aprendizaje que se alternan (codificación, almacenamiento, recuperación, actualización).
- Sistemas de control. Son el conjunto de decisiones que controlan los procesos sobre las estructuras organizativas.

## **2.4.2. Algunas arquitecturas cognitivas**

Existe gran variedad de arquitecturas cognitivas, cada una con características propias. Algunos ejemplos de arquitecturas cognitivas:

- ACT-R, diseñada por John Anderson en 1993.
- CAPS de Just y Carpenter proyecto desarrollado en 1992.
- SOAR presentada por Newell en el año 1990.
- EPAM elaborada por Feigenbaum y Simon en 1984.
- Epic obtenida por Meyer y Kieras, en 1997.

Existen muchas más como COCOM, Prodigy, Icarus, CLARION, CogAff, etc., la lista es muy larga, pero a continuación analizaremos las arquitecturas cognitivas con bases históricas más importantes: SOAR y ACT-R.

## SOAR

SOAR (State Operator and Result traducido al español como Estado del Operador y Resultados) es una arquitectura cognitiva que ha estado en continuo desarrollo con bases impuestas por Newell en 1980, dando continuidad al trabajo Rosenbloom en 1987 y el más reciente, John Laird en 2008, actual profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales de la Universidad de Michigan.

SOAR se utiliza como teoría para una amplia gama de fenómenos cognitivos:

- Las respuestas inmediatas (estímulo-respuesta y los fenómenos Sternberg<sup>2</sup>).
- Memoria y aprendizaje (memoria episódica y adquisición de habilidades a través de la práctica).
- Resolución de problemas (rompecabezas criptoaritméticos y razonamiento silogístico).
- Idioma (verificación de la sentencia y la toma de decisiones).

Los tratamientos varían en profundidad y la adecuación, pero es evidente que revelan un único y específico objetivo: que la teoría operativa funcione sobre toda la gama de la cognición humana. Sin embargo SOAR se presenta como una teoría unificada ejemplar, y no como una única arquitectura cognitiva.

SOAR toma las reglas de producción para la memoria procedimental de largo plazo, las cuales organiza en términos de operadores asociados con problemas espaciales, por muchos años siendo esta la forma de representar toda la memoria de largo plazo, pero actualmente surge la separación de la memoria episódica (la cual tiene estados previos) y la memoria semántica (que contiene hechos ya conocidos). Los operadores realizan actos de deliberación del sistema, con conocimientos utilizados de forma dinámica para determinar la selección y aplicación. El ciclo de procesamiento básico en repetidas ocasiones se propone,

---

<sup>2</sup> Fenómenos Sternberg son diversas actividades analíticas, creativas y prácticas desarrolladas por una persona que la aproximan hacia la adaptación de un ambiente logrando así la inteligencia.

elige y aplica los operadores del problema espacial actual a un estado del problema, avanzando una decisión a la vez.

Recientemente, SOAR ha apoyado una serie de agentes inteligentes que controlan caracteres sintéticos en videojuegos de ordenador (Magerko, 2006). SOAR se ha involucrado en ser parte de modelos de los detalles del procesamiento del lenguaje humano, clasificación, y otras facetas de la cognición, pero el énfasis ha sido en la demostración de funcionalidad alto nivel en lugar de mediciones cuantitativas.

## **ACT-R**

John Anderson inspirado en el trabajo de Newell propone ACT-R teniendo como objetivo definir las operaciones básicas e irreductibles cognitivas y formales de la mente humana.

ACT-R (por sus siglas en inglés Adaptive Control of Thought – Rational traducido al español como Control Adaptativo del Pensamiento Racional) es una arquitectura cognitiva que encierra una teoría para explicar como el conocimiento humano funciona: cómo organizar estructuras y procesos del conocimiento para producir un procedimiento inteligente. ACT-R esta basada en el supuesto de una teoría unificada de la mente (Seel, 2012).

ACT-R es un sistema de producción que mediante la detección de patrones trabaja sobre la memoria y módulos de percepción. Mediante simulaciones con ACT-R se logra la predicción de las medidas en experimentos psicológicos como la latencia (tiempo para realizar una tarea), precisión (respuestas correcto frente a falso) y datos neurológicos (como fMRI<sup>3</sup>).

El desarrollo de ACT-R data de 1983 y se basa en elementos cognitivos que son fuentes de activación de la memoria declarativa, que entran a la memoria de largo plazo.

---

<sup>3</sup> fMRI (Por sus siglas en inglés Functional Magnetic Resonance Imaging) procedimiento clínico para mostrar regiones cerebrales.

Lo hallamos materializado en un software basado en LISP, usado exitosamente para crear modelos en dominios tales como:

- aprendizaje y memoria
- solución de problemas y toma de decisiones
- lenguaje y comunicación
- percepción y atención
- el desarrollo cognitivo ó diferencias individuales

ACT-R es arquitectura cognitiva híbrida, cuenta con dos estructuras:

- Estructura simbólica. Es un sistema de producción
- Estructura subsimbólico. Representada por un conjunto de procesos masivamente paralelos que pueden ser resumidos por una serie de ecuaciones matemáticas que controlan muchos de los procesos simbólicos. Además estos mecanismos subsimbólicas son responsables de la mayoría de los procesos de aprendizaje en el ACT-R.

ACT-R ha sido usado en tareas como: la torre de hanoi, la memoria para texto, la comprensión del lenguaje, la comunicación, el control de los aviones, etc., donde se evalúa el tiempo en que se ejecuta la tarea, la precisión de la tarea, y recientemente los datos neurológicos (FMRI). Así los investigadores recogen medidas cuantitativas que se comparan con los indicadores cuantitativos obtenidos de los participantes humanos (Budiu , 2012).

Entre las aplicaciones más exitosas, hallamos a los tutores de matemáticas cognitivos, con ellos se evalúa en nivel de aprendizaje. (Hochstein, 2002)

ACT-R es un ejemplo de una arquitectura moderadamente especificado, en el que uno puede construir modelos de simulación.

El mecanismo de ACT-R se rige bajo tres componentes: módulos, buffer, y reconocimiento de patrones. Se categoriza los módulos de ACT-R del siguiente modo:

- Módulos perceptivo-motores. Se encargan de la interfaz con el mundo real (es una simulación del mundo real), incluye la percepción y el movimiento.
- Módulos de memoria.
  - Memoria declarativa
  - Memoria procedimental

ACT-R tiene acceso a los módulos a través de los buffers (excepto la memoria procedimental). Siendo así cada buffer la interfaz con los módulos y su contenido (en un momento dado en el tiempo) el estado de la ACT-R en ese momento. Las búsquedas de reconocimiento de patrones son solo para una producción que coincide con el estado actual de los buffers, es decir, sólo una producción específica se puede ejecutar en un momento dado, y cuando se ejecuta, puede modificar los buffers y por tanto cambiar el estado del sistema. De este modo ACT-R desarrolla el conocimiento como una sucesión de disparos de producción.

Hay algunas características que son importantes en el estudio de las tareas complejas que la ACT-R no está bien adaptada para el modelado: incluido entre éstas el modelado de ciertos tipos de errores.

ACT-R actualmente busca ampliar su gama de tareas, entre ellas capturar más a detalle la forma en que percibimos, pensamos y actuamos en el ambiente.

# Capítulo 3

## Answer Set Programming

### 3.1 Un Paradigma de la Programación Lógica: ASP

La Programación Lógica (Logic Programming, LP) es en la actualidad la herramienta que permite el modelado formal de problemas reales en forma natural, intuitiva y simbólica. Computacionalmente a este paradigma se le llama programación declarativa y consiste en resolver un problema por medio de la descripción formal del mismo sin el uso de un algoritmo específico (como lo hacemos en la programación procedimental). La programación declarativa permite representar el conocimiento mediante hechos y relaciones entre diversos objetos que son capturados en el programa (forman la base del conocimiento) con el objetivo de ser capaces de contestar preguntas sobre los objetos descritos y encontrar soluciones a problemas particulares (Niemei, 1999).

Answer Set Programming es un paradigma no-monotómico<sup>4</sup> de programación declarativa, basado en modelos estables de la programación lógica para resolver problemas NP-Duros.

Los modelos estables semánticos (Stable Model Semantic, SMS) han sido un trabajo desarrollado por Gelfond and V. Lifschitz, desde 1988 hasta 1991. Los modelos estables semánticos se usan para definir una programación declarativa, con la primicia de que la negación se presenta como falla en los programas. Entonces un problema debe codificarse en forma de un programa lógico, buscando que la semántica del programa capture, las soluciones del problema en cuestión. Y usando la característica de que la negación provee la especificación del conocimiento por omisión estableciendo relaciones inerciales que son fundamentales para modelar sistemas dinámicos.

---

<sup>4</sup> No monotómico. Proviene de monotonía. Son llamadas inferencias no-monotómicas porque el conjunto de conclusiones justificadas sobre la base de conocimientos dado, no aumenta (de hecho, se puede reducir) con el tamaño de la base de conocimiento (Antonelli, 2012)

La semántica de los modelos estables consideraba únicamente reglas de la forma:

$$h_1 \vee h_2 \vee \dots \vee h_m \leftarrow b_1 \wedge \dots \wedge b_m \wedge \neg b_{m+1} \wedge \dots \wedge \neg b_{m+l}$$

Donde cada  $h_i$  y  $b_i$  es una fórmula atómica con  $n \geq 0, m \geq 0$  y  $l \geq 0$

Es importante resaltar que ASP tiene dos tipos de negación: clásica ( $\sim$ ) y la falla ( $\neg$ ). Mientras la negación clásica nos informa que el conocimiento es falso, la negación de falla nos dice que una fórmula  $\neg F$  es cierta, si a través de no poder mostrar que F sea cierta, siendo este hecho no necesariamente falso puesto que tal vez en ese momento no se cuente con la información que haga verdadero a esta fórmula, así haciendo expresión del conocimiento por omisión.

De (Navarro Pérez, 2003) mostramos el siguiente ejemplo:

La regla es: “Normalmente las aves vuelan”

La expresión es:  $vuela(X): ave(X) \wedge \neg(\sim vuela(X))$

Suponer que en la base de conocimiento esta:

$ave(pato).$

$ave(pelicano).$

$ave(pingüino).$

$\sim vuela(pingüino).$

El sistema, usando la regla arriba mencionada, inferirá que el pato y el pelicano, que son aves, pueden volar. Pero el sistema no tratará de usar el mismo razonamiento para demostrar que los pingüinos vuelan, pues de manera explícita lo sabe.

Existen observaciones que debemos considerar:

- Es importante que en la literatura revisemos el convenio acerca de los símbolos de las dos diferentes negaciones.
- La negación explícita no solo es para expresiones atómicas sino también para fórmulas arbitrarias en general. Aunque a decir verdad la negación explícita es muy restringida y no juega un papel realmente significativo,  $\sim \text{vuela}(\text{pingüino})$  se puede escribir de forma  $\text{no\_vuela}(\text{pingüino})$  sin cambiar el contexto.
- Otra restricción sintáctica para definir semánticas de ASP es eliminar los símbolos funcionales de lenguaje, esto es porque al utilizar dominios infinitos, los Answer Set ya no son recursivamente numerables. (Cenzer, Remmel, & Marek, 2004) y se convierten en teorías proposicionales finitas al instanciar las variables.

## 3.2 Solvers

ASP tiene diversos solvers (solucionadores), que son diversas implementaciones de los modelos estables semánticos para los programas lógicos. Actualmente figuran los siguiente solucionadores: (Sergot, 2010)

- SModels
- CModels
- Clasp
- DLV
- GnT
- Pbmodels
- ASSAT

### 3.3 Dominios de Aplicación

Answer Set Programming ha sido usado en diversos dominios, destacando:

- Configuración
- Integración de la información
- Análisis de seguridad
- Sistemas de agentes
- Semántica web
- Planificación
- Diagnóstico
- Redes biológicas
- Preferencias

Answer Set Programming cuenta con diversos problemas benchmark propuestos en diversas clasificaciones: (Truszczyński, 2001)

Ámbito	Problemas Benchmark
<b>Planificación</b>	15-puzzle, torres de Hanói, problema de las n-reinas, Sokoban, etc.,
<b>Estructuras Combinatorias</b>	Números de Ramsey, números de Schur, etc.,
<b>Grafos</b>	Cobertura de vértices, ciclo hamiltoniano, etc.,
<b>Base de Datos deductivas</b>	Accesibilidad (cierres transitivos)

Tabla 3. Algunos problemas benchmark para ASP

Entre otros problemas benchmark figuran el punto muerto, factorización, encriptación estándar de datos, entre otros.

### **3.4 Comparación con otros métodos**

La atractiva combinación de un lenguaje de modelado basto y simple de ASP proporciona un alto rendimiento de las capacidades de resolución, a continuación comparemos ciertos aspectos de ASP con otras propuestas de solución.

Answer Set Programming en contraste con el modelo de control simbólico, permite la declaración de los problemas y las consultas en el dominio de términos específicos de los programas ejecutables de lógica, eliminando así la brecha entre la especificación y el lenguaje de verificación (Cliffe, De Vos, & Padget, 2006).

Answer Set Programming en comparación con los métodos de representación similares a los de SAT (Satisfactibilidad de la lógica proposicional clásica) y su extensión a cuantificada SAT, ASP proporciona al programador las variables que permiten representaciones de problemas más compactos y de fácil lectura. En particular, es fácil de expresar conceptos como cierre transitivo (Working Group on Answer Set Programming , 2001).

Contrastando ASP con otros formalismos lógicos de programación como Prolog, ASP se basa en los modelos de programas en lugar de pruebas y de contestación de la consulta. ASP ha incorporado en el determinismo y es totalmente declarativo, en el sentido de que el orden de las reglas y submetas en las reglas, no importa. Esto hace que el lenguaje sea más fácil de usar, en particular las cuestiones relativas a la terminación: programas ASP siempre terminan (cuando los programas Prolog simples tal vez no terminen), incluso en el uso arbitrario de la negación (Working Group on Answer Set Programming , 2001).

# Capítulo 4

## **Answer Set Programming: una herramienta para el modelado de procesos cognitivos**

Teniendo nociones básicas de ASP y revisando los dominios en los que tiene aplicación, a continuación veremos aplicaciones específicas donde ASP se presenta como una herramienta idónea para el modelado de proceso cognitivos.

### **4.1 En el dominio de la robótica**

Para el campo de la robótica es relevante que se diseñen robots inteligentes con un sistema capaz de realizar diversas tareas. Actualmente en la sociedad existen los robots cognitivos que albergan tareas de percepción, reconocimiento, categorización, navegación, adaptación, aprendizaje, toma de decisiones, planificación, interacción, comunicación, entre otras (Chatila, 2006).

Existen los robots espaciales que son encargados de explorar un área y recolectar todo tipo de información por ejemplo (Sofge, y otros, 2004) nos muestra el uso de ACT-R para Robonauts. Otro ejemplo del uso de arquitecturas cognitivas es la implementación de ICARUS en el robot Mahru con un escenario en el que el robot debe ordenar los bloques de diferentes colores y apilar en torres con bloques del mismo color (Choi, Kang, & Lim, 2009).

En (Ji, 2009) se presenta una arquitectura cognitiva para un robot de servicio, es una propuesta que concentra las funciones cognitivas de bajo nivel implementadas bajo Answer Set Programming para integrar la representación del conocimiento y razonamiento con ésta herramienta, dividiendo en módulos el comportamiento del robot: planificación de tareas, procesamiento de lenguaje y planificación de movimientos y en (Xiaoping, Jianmin , & Jiehui , 2010) nos resume el trabajo implementado con la propuesta anterior, trabajo que fue presentado en RoboCup China Open 2009.

## **4.2 En el dominio de la música**

En una era digital, con la llegada de los sintetizadores y computadoras, la forma de hacer música cambió. Actualmente la composición musical automática es una realidad, para la creación de piezas musicales se necesita de diversos procesos cognitivos, saber de música no solo es la reproducción de notas musicales, sino tener conocimientos musicales (reglas) y obtener una pieza melódica y armónica.

En (Boenn, Brain, & De Vos and John , 2008) se presenta un lenguaje declarativo, bajo el paradigma de Answer Set Programming, que envuelve la representación del conocimiento y la formalización de las reglas de la composición musical, así se logra un acercamiento a la automatización y análisis de la composición musical.

## **4.3 En el dominio del diagnóstico médico**

Identificar una posible enfermedad, no es trabajo fácil, existen muchos síntomas que pueden llevar a un diagnóstico erróneo. Conocer el estado físico, psicológico, y la detección de síntomas del paciente es la principal base para establecer que tipo de enfermedad tiene el paciente.

En (Osorio, Nieves, & Cortés, 2008) se realiza un esquema general de como a partir de modelos cognitivos que incluyen un historial clínico se pueden diseñar herramientas para construir una guía inteligente de atención a la salud, cabe mencionar el trabajo no ha sido completamente finalizado.

## **4.4 En el dominio de la configuración de sistemas informáticos**

En los sistemas Linux, ya se presenta una tradición primero en (Syrjänen, 2000) Answer Set Programming se usó para representar y resolver problemas de configuración del sistema Debian GNU/Linux y luego se presenta una herramienta denominada Aspcud, que es un paquete de configuración del Sistema Linux (Gebser, Kaminski , & Schaub, 2011).

## **4.5 En el dominio de la tutoriales de aprendizaje**

E-learning es una herramienta de aprendizaje electrónica desarrollada con la teoría conductista de Vigotsky bajo el paradigma computacional de Answer Set Programming, partiendo de información recolectada de alumnos en un ambiente electrónico, procesando esta información, el sistema presenta un plan de aprendizaje social, conforme el alumno resuelva las tareas, el sistema actualiza las capacidades del estudiante, para encontrar otros planes para adquirir nuevas destrezas y habilidades. (Zacarías Flores & Cuapa Canto)

## **4.6 En el dominio de la filogenia**

La filogenia es la disciplina que se encarga de determinar la historia de los organismos, los sistemas filogenéticos<sup>5</sup> son relaciones que pueden formar diagramas con forma de árboles los cuales representan las especies, los vértices internos antecesores y los arcos son las relaciones genéticas que existen entre éstos. La idea es reconstruir estos diagramas representacionales, mediante Answer Set Programming. Existen muchos trabajos en la filogenia realizados bajo este innovador paradigma (Brooks, Erdem, Erdoan, James, & Ring, 2007).

## **4.7. En el dominio de teoría de juegos**

En ambientes de juego donde solo participa un jugador, probado sin intervención humana, la descripción de las reglas del juego mediante Answer Set Programming proporciona un valioso apoyo a los sistemas para este tipo de juegos. (Thielscher, 2009)

---

<sup>5</sup> Sistemas Filogenéticos son esquemas que establecen parentescos y relaciones evolutivas entre los diferentes grupos de organismos vivos, estudiando clasificación y patrones entre las taxonomía. (Journey into Phylogenetic Systematics, 2005)

#### **4.8. En el dominio de planificación en compras**

En (Artola, 2006) nos ofrece una aplicación que involucra estructuras de almacenamiento predefinidas, para la creación de un posible proyecto, en un espacio determinado; la aplicación crea la factura estimada, una lista de los resultados de las características deseadas para los estantes, y el esquema básico para una primera colocación, el software utiliza Answer Set Programming para colocar los estantes obtener el máximo espacio útil dentro de sus posibles limitaciones y dentro de una ubicación en el estante estándar, se explora todos los resultados posibles para la colocación de estantería, y sus ventajas dado el estante las normas de colocación.

#### **4.9. En el dominio de los planes de evacuación**

Los planes de evacuación en desastres naturales son cruciales para salvar vidas humanas. No podemos esperar a que el evento suceda, para pensar que debemos hacer ante un desastre. En (Zepeda & Sol, 2007) nos plantean la salida de pobladores de la zona de peligro de un lugar que tiene un volcán activo. El sistema trabaja con información geográfica incompleta del lugar, dividiendo esta información en áreas de zona de riesgo, generando planes de evacuación dado que se le da el parámetro de posición y actualizándose el sistema cuando el individuo cambia de posición o bien sucede alguna nueva situación como tráfico o cualquier otra situación como el cambio del ambiente.

# Conclusiones

Hemos llegado a la parte, personalmente más importante: saber lo que se tiene y como se va a usar. En este trabajo nos fijamos investigar y evaluar a Answer Set Programming como una herramienta computacional capaz de representar procesos cognitivos, estudiados por la Ciencia Cognitiva. Y en este apartado expresamos haber llegado a la conclusión de que, efectivamente Answer Set Programming es un paradigma de la programación lógica capaz de representar el conocimiento, capaz de abstraer el problema de sistemas dinámicos y resolverlo mediante diversas operaciones como: planificación, diagnóstico, configuración, integración de información, clasificación, etc., al haber revisado una serie de aplicaciones en diferentes ámbitos de la investigación: diagnóstico médico, planificación de rutas, planificación de compras, composición musical, tutoriales de aprendizaje, clasificación de especies, la aplicación en los llamados robots cognitivos, siendo estas aplicaciones una expresión básica casos específicos del uso de Answer Set Programming.

En este documento integramos un cuadro general de la Ciencia Cognitiva enfocada a las tareas de la Computación y la Inteligencia Artificial, presentando herramientas computacionales en colaboración a la Ciencia Cognitiva. Cabe destacar que el análisis de la reseña histórica nos ha dejado un punto importante que es la colaboración de las distintas áreas que conforman a la Ciencia Cognitiva, además del relevante papel que juega el desarrollo tecnológico de la época, en su progreso. La Ciencia Cognitiva no es una ciencia aislada, es producto de la colaboración de otras disciplinas que conforman a la CS, entre ellas la Computación y la Inteligencia Artificial, que son las disciplinas que nos conciernen, pero no por ello debemos olvidar a las otras áreas de CS.

Ahora sabemos que el pensamiento en la mente se representa como los modelos mentales que para explicar en la Ciencias Exactas se transforman en modelos conceptuales, nosotros nos centramos en el modelo computacional representacional, regido bajo el paradigma del modelo simbólico.

Un aspecto interesante de éste documento es encontrar un esquema teórico formal del paradigma de Answer Set Programming y casos prácticos donde Answer Set Programming es la pieza central para la solución de éstos casos prácticos, que ayudan a forjar la convicción de saber que ASP es una herramienta idónea para el modelado de procesos cognitivos.

Finalmente el documento aquí presente son las bases y la motivación para continuar investigando, recopilando, estructurando conceptos, analizando más información sobre el paradigma lógico de ASP, así también desarrollar aplicaciones futuras con procesos cognitivos como la planificación bajo la estructura lógica de Answer Set Programming.

# Bibliografía

- Brain + cognitive sciences*. (07 de Marzo de 2012). Obtenido de Brain+ cognitive sciences: <http://bcs.mit.edu/index.html>
- GradSchools.com*. (25 de Mayo de 2012). Obtenido de GradSchools.com: <http://www.gradschools.com/search-programs/cognitive-science>
- Mind / Brain / Behavior*. (28 de Mayo de 2012). Obtenido de Mind / Brain / Behavior: <http://mbb.harvard.edu/undergrad/psychtrack.php>
- Stanford Center for mind, brain and Computation*. (27 de Mayo de 2012). Obtenido de Stanford Center for mind, brain and Computation: <http://www.stanford.edu/group/mbc/cgi-bin/index.php>
- The Lobes of Brain*. (10 de Febrero de 2012). Obtenido de The Lobes of Brain: <http://sciencethebrain.blogspot.mx/2010/03/5-parts-of-you-brain.html>
- Andler, D. (2005). *Cognitive Science*. Paris: Université de Paris-Sorbonne.
- Antonelli, G. A. (04 de Mayo de 2012). *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Obtenido de Stanford Encyclopedia of Philosophy: <http://plato.stanford.edu/entries/logic-nonmonotonic/>
- Artola, F. (2006). *Shelves Placement using Answer Set Programming*. University of Bath, Department of Computer Science.
- Barrett, J. L., & Trigg, R. (2012). *Universidad de Oxford*. Recuperado el 05 de Marzo de 2012, de Instituto de Tecnología y Antropología Evolutiva: <http://www.icea.ox.ac.uk/lab/research/cognition-religion-and-theology/project-summary/>
- Blasco, J. L., & Grimaltos Mascarós, T. (2004). *Teoría del Conocimiento*. Valencia: Maite Simon.
- Boenn, G., Brain, M., & De Vos and John, M. (2008). Automatic Composition of Melodic and Harmonic Music by Answer Set Programming. En *Logic Programming*. Bath, Reino Unido.
- Broncano Rodríguez, F. (1995). *La Mente Humana* (Primera ed., Vol. 8). Madrid, España: Trotta.
- Brooks, D., Erdem, E., Erdoan, S., James, M., & Ring, D. (2007). Inferring Phylogenetic Trees Using Answer Set Programming. *Journal of Automated Reasoning*, 39.
- Budiu, R. (2012). *ACT-R*. (C. M. Department of Psychology, Productor) Recuperado el 07 de Mayo de 2012, de <http://act-r.psy.cmu.edu/>

- Byrne , M. (2005). *Computational Modeling in Human Factors/Human-Computer Interaction*. Rice University.
- Byrne, M. (2005). *Cognitive Architectures in HCI: Present Work and Future Directions*. Rice University.
- Cacioppo, J. (2006). *Bridges with biology, neuroscience and cognitive science*. Cambridge University Press., Nueva York.
- Carnegie Mellon University. (2012). *Human Computer Interaction Institute*. (Carnegie Mellon University) Recuperado el 7 de Mayo de 2012, de Human Computer Interaction Institute: <http://www.hcii.cmu.edu/courses/applications-cognitive-science>
- Cenzer, D., Remmel, J., & Marek, V. (2004). *Logic Programming with Infinite Sets*. University of Florida. Department of Mathematics.
- Chatila, R. (2006). Architectures for cognitive robots. *ICRA 2006, Workshop on Cognitive Robots and Systems*. Toulouse, France.
- Cherry, K. (2012). *About.com Psychology*. Recuperado el 08 de Febrero de 2012, de Part of the New York Times Company: [http://psychology.about.com/od/cindex/g/def\\_cognition.htm](http://psychology.about.com/od/cindex/g/def_cognition.htm)
- Choi, D., Kang, Y., & Lim, H. (2009). *Knowledge-based Control of a Humanoid Robot*. Korea.
- Cliffe, O., De Vos, M., & Padget, J. (2006). Answer Set Programming for Representing and Reasoning about Virtual Institutions. *Computational Logic in Multi-Agent Systems 7th International Workshop, CLIMA VII, Hakodate*. Japan: Springer-Verlag.
- Gärdenfors, P. (1999). *Human IT*. Recuperado el 09 de Mayo de 2012, de Cognitive science:from computers to anthills as models of human thought: <http://etjanst.hb.se/bhs/ith/2-99/pg.htm>
- Gardner, H. (1985). *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*. Basic Books, Inc., Publisher.
- Gebser, M., Kaminski , R., & Schaub, T. (2011). *Aspcud: A Linux Package Configuration Tool Based on Answer Set Programming*. Universidad Postdam, Departamento de Informática.
- Grant, S. (1995). *El desarrollo de la arquitectura cognitiva para el modelado y la simulación de la cognición y el error en las tareas complejas*. Recuperado el 18 de Mayo de 2012, de <http://www.simongrant.org/pubs/val/text.html>

- Hochstein, L. (Octubre de 2002). *Theories in Computer human interaction*. Recuperado el 18 de Marzo de 2012, de <http://www.cs.umd.edu/class/fall2002/cmsc838s/tichi/actr.html>
- Ji, J. (2009). A Cognitive Architecture for a service Robot: Answer Set Approach.
- Journey into Phylogenetic Systematics. (2005). *Journey into Phylogenetic Systematics*. Recuperado el 01 de Julio de 2012, de Journey into Phylogenetic Systematics: <http://www.ucmp.berkeley.edu/clad/clad4.html>
- Langley, P., E. Laird, J., & Rogers, S. (2002). *Cognitive Architectures: Research Issues and Challenges*.
- Magerko, B. (2006). *Player Modeling in the Interactive Drama Architecture*. Michigan.
- Martínez Luaces, M. (2008). *La Conciencia: Modelado de sus funciones cognitivas para entidades artificiales mediante redes neuronales modulares*. Recuperado el 02 de Febrero de 2012, de <http://oa.upm.es/1271/>
- Mastín, L. (2010). *The human memory*. (L. Mastin, Editor) Recuperado el 02 de 05 de 2012, de The human memory: [http://www.human-memory.net/brain\\_neurons.html](http://www.human-memory.net/brain_neurons.html)
- Medina, N. (2008). La ciencia cognitiva y el estudio de la mente.
- Medina, N. (2010). Realidad Mentak en la Ciencia Cognitiva. *IIPSI*.
- Moreira, M., Greca, I., & Rodríguez Palmero, M. (2010). *Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias*.
- Navarro Pérez, J. (2003). *Lógica Aplicada a Answer Sets*. Puebla, Mexico: Universidad de las Américas.
- Niemel, I. (1999). *Logic programs with stable model semantics as a constraint programming paradigm*. Helsinki University of Technology, Department of Computer Science and Engineering.
- Osorio, M., Nieves, J. C., & Cortés, U. (2008). An architecture for building intelligent agents applied in Health Care at AAMAS'08. *In Proc. of the Fifth Workshop on Agents Applied in Health Care at AAMAS'08*. Portugal.
- Psicología Cognitiva de la Memoria. (s.f.).
- Riegler, A. (1998). *The End of Science: Can We Overcome Cognitive Limitations?* Australian Science Fundation.
- Seel, N. M. (2012). *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer US.
- Sergot, M. (2010). *ASP (Answer Set Programming) Solvers*. Londres, Alemania: Department of Computing Imperial College.

- Sofge, D., Perzanowski, D., Skubic, M., Bugajska, M., Trafton, J. G., Cassimatis, N., . . . Schultz, A. (2004). Cognitive tools for humanoid Robots in Space. *Elsevier*.
- Syrjänen, T. (2000). Including Diagnostic Information in Configuration Models. *In Proceedings of the First International Conference on Computational Logic*.
- Thagard, P. (2008). *La mente: Introducción a las ciencias cognitivas*. Madrid: Katz Editores.
- Thielscher, M. (2009). Answer Set Programming for Single-Player Games in General Game Playing. *ICLP '09 Proceedings of the 25th International Conference on Logic Programming*. Department of Computer Science, Dresden University of Technology.
- Truszczyński. (2001). *BENCHMARK PROBLEMS FOR ANSWER SET PROGRAMMING SYSTEMS*. Obtenido de <http://www.cs.engr.uky.edu/ai/benchmarks.html>
- University of Massachusetts Amherst. (2012). *Umass Amherst Libraries*. Recuperado el 07 de Mayo de 2012, de Top 50 psychology journals - ranked by JCR impact factor: <http://guides.library.umass.edu/content.php?pid=52227&sid=383170>
- Westbury, C., & Wilensky, U. (1998). Knowledge representation in cognitive science: Implications for education. *Proceedings of the First International conference on the Learning sciences and the challenges of the information era*.
- Wilson, R., & Keil, F. (1999). *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*. Londres, Inglaterra: Library of Congress Cataloging.
- Working Group on Answer Set Programming . (2001). *WASP*. Obtenido de WASP: <http://www.kr.tuwien.ac.at/research/projects/WASP/showcase.html>
- Xiaoping, C., Jianmin , J., & Jiehui , J. (2010). *Progress of Ke Jia Project*. University of Science and Technology of China.
- Zacarías Flores, F., & Cuapa Canto, R. (s.f.). E-learning en la enseñanza del TCU. Puebla, Mexico: Facultad de Ciencias de la Computación y Tronco Común Universitario.
- Zepeda, C., & Sol, D. (2007). Evacuation Planning using Answer Set Programming: An initial approach.