

INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO

---



# Implementación de grafos de factor en la arquitectura cognitiva SOAR

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
Maestro en Ciencias en Computación

PRESENTA

Aarón Christian Sánchez Padilla

ASESOR

Dr. José Octavio Gutierrez García

MÉXICO, D.F.

2016

”Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal de Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimonial de la obra titulada “**Implementación de grafos de factor en la arquitectura cognitiva SOAR**”, otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Tecnológico Autónomo de México y a la biblioteca Raúl Baillères Jr., autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre sus usuarios, profesores, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una prestación”

Aarón Christian Sánchez Padilla

---

Fecha

---

Firma

Este documento presenta una plantilla para usar en las tesis y tesinas del ITAM.  
Se provee de manera

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.3. Alcance . . . . .	4
1.4. Justificación . . . . .	5
1.5. Metodología . . . . .	6
1.5.1. Análisis del Problema . . . . .	6
1.5.2. Investigación . . . . .	6
1.5.3. Comparación de métodos . . . . .	6
1.5.4. Implementación . . . . .	7
1.5.5. Comparación de resultados . . . . .	7
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>8</b>
2.1. Arquitecturas de Computadoras . . . . .	8
2.1.1. Conjunto de Instrucciones . . . . .	9
2.1.2. Arquitectura Von Neumann . . . . .	9
2.1.3. Arquitectura Harvard . . . . .	9
2.2. Inteligencia Artificial . . . . .	10
2.3. Cómputo Cognitivo . . . . .	11
2.4. Arquitecturas Cognitivas . . . . .	12

## ÍNDICE GENERAL

2.5. SOAR . . . . .	13
2.6. Modelos Gráficos . . . . .	15
2.6.1. Redes Bayesianas . . . . .	15
2.6.2. Modelos Ocultos de Markov . . . . .	16
2.6.3. Grafos de Factor . . . . .	17
<b>Bibliografía</b>	<b>19</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes

El Cómputo Cognitivo es un nuevo paradigma de la computación. Esta disciplina tiene como objetivo el desarrollar un mecanismo coherente inspirado en las capacidades del cerebro humano. Se busca implementar una teoría universal unificada de la mente humana. De esta forma, al querer estudiar la mente, se ve implicada la participación de la Neurociencia. El campo de la Computación Cognitiva lleva los conceptos de la computación a un nivel completamente nuevo [16].

Uno de los temas que más se relacionan con este nuevo paradigma consiste en descubrir de qué forma ocurren los procesos cognitivos en los seres humanos. Este no es un problema trivial ya que incluso hoy en día se cuentan con diferentes teorías. Este problema se extiende al Cómputo Cognitivo, pues históricamente, diferentes campos han tomado diversos enfoques para estudiar el tema.

Por el lado de la Inteligencia Artificial, como rama de las Ciencias Cognitivas, cuenta con un enfoque a nivel de un sistema computacional. Esto significa que los avances de estudiar el Cómputo Cognitivo, por una parte, estarán dirigidos a obtener nuevos sistemas de aprendizaje, arquitecturas de computadoras diferente a las tradicionales (tómese por ejemplo las arquitecturas Von Neuman), sistemas capaces de analizar y sintetizar grandes cantidades de datos no

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

estructurados, por mencionar algunos ejemplos.

Hoy en día, una de las principales empresas interesadas en el desarrollo de esta nueva ciencia, es IBM. Esta empresa es famosa por crear una computadora con la capacidad de ganarle a cualquier ser humano en un juego televisivo llamado "Jeopardy". Esta computadora fue llamada "Watson". En este juego se demostró la capacidad de IBM de construir computadoras poderosas con capacidades sorprendentes.

Ahora, IBM busca imitar las capacidades del cerebro ya que este es capaz de integrar procesamiento y memoria en un solo lugar, pesa menos de tres libras, ocupa un volumen de aproximadamente dos litros y utiliza menos energía que una bombilla de luz. De acuerdo con IBM, el cerebro es un sistema de aprendizaje capaz de ser modificado y tolerante a fallas, además de ser extremadamente eficiente al momento de reconocer patrones.

La Computación Cognitiva hace referencia a un sistema con la capacidad de aprender a escala, razonar con propósito e interactuar con humanos de forma natural. En lugar de estar estrictamente programadas, los sistemas cognitivos aprenden y razonan de sus interacciones. Con base en modelos probabilísticos, estos sistemas cuentan con la habilidad de generar hipótesis, argumentos racionales y recomendaciones con base en una gran cantidad de datos no estructurados [1].

Como se mencionó anteriormente, IBM presentó al mundo en Febrero del 2011 a "Watson", actualmente es considerado como el primer sistema cognitivo y fue capaz de vencer a dos de los mejores jugadores de "Jeopardy" del mundo. Esta fue la primera demostración de lo que son capaces los sistemas cognitivos. De acuerdo con IBM, el nivel de éxito de los sistemas cognitivos ya no será medido con base en la prueba de Turing o la capacidad de la computadora de imitar capacidades humanas, sino por de manera más práctica: oportunidades en nuevos mercados, retorno de la inversión, vidas salvadas [1].

Debido al gran crecimiento y beneficios que presentan los sistemas cognitivos, la necesidad de su implementación y divulgación se hace por medio de arquitecturas cognitivas. Una arquitectura cognitiva especifica la infraestructura en la cual se construye un sistema inteligente. En general, una arquitectura involucra ciertos elementos necesarios para la construcción de agentes cognitivos, como lo

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

son: una arquitectura de almacenamiento (análogo a las memorias de largo y corto plazo de la mente humana) en donde se almacenan las creencias, metas y conocimientos del agente; una representación de los elementos contenidos en la memoria, es decir, una representación del conocimiento y su organización; por último, una descripción de su proceso funcional (la forma en que adquiere conocimiento) que opera en las estructuras antes mencionadas [14]. Sin embargo, cabe aclarar que análogo a una computadora, el conocimiento y las creencias de un agente cognitivo no se consideran como embebidas en la arquitectura. Así como diferentes programas de software pueden ser ejecutados en una misma computadora, distintas creencias y conocimiento pueden ser interpretados por una misma arquitectura.

Por otro lado, a diferencia de los sistemas expertos, una arquitectura se enfoca en ampliar el conocimiento que pueda adquirir por medio de diversas tareas y entornos; los sistemas expertos cuentan con un comportamiento que busca desarrollar un nivel de maestría en contextos reducidos y bien definidos.

Para ejemplificar los avances realizados en el desarrollo de arquitecturas cognitivas, se pueden mencionar diferentes marcos de trabajo los cuales comparten las características antes mencionadas. La principal razón por la cual se mencionan estos trabajos se debe a su popularidad. En primer lugar, como se ha mencionado anteriormente “Watson” de IBM es uno de los primeros sistemas cognitivos y ha planteado el camino a seguir para las investigaciones futuras hoy en día ya se cuenta con un marco de trabajo que permite aprovechar las herramientas de “Watson” para sistemas expertos. En segundo lugar *ACT-R* [2] es de las arquitecturas cognitivas más recientes y se enfoca principalmente en el modelado del comportamiento humano. En tercer lugar, *Soar* [11] es una de las arquitecturas más importantes y populares debido a su enfoque, el cual consiste en que todas las tareas son formuladas como metas que, a su vez, estas metas se organizan de forma jerárquica. En cuarto lugar, *ICARUS* [15] se distingue debido a que almacena dos tipos distintos de conocimiento: conceptos, que describen clases de situaciones ambientales y habilidades que especifican cómo cumplir con las metas establecidas. Por último, *PRODIGY* [5] que utiliza reglas de dominio y reglas de control para representar el conocimiento.



## 1.2. Objetivos

Esta tesis se enfoca en el desarrollo de las arquitecturas cognitivas, particularmente, en el marco de trabajo *SOAR*, el cual es capaz de: trabajar sobre una gran variedad de diversas tareas; utiliza métodos de resolución de problemas y aprende de cada tarea realizada y analiza su propio desempeño. Gracias a que *SOAR* es de libre código, esta tesis implementa grafos de factor como herramienta para lograr una implementación unificada y al mismo tiempo contar con una gran diversidad al nivel de la arquitectura, es decir, que esta sea capaz de realizar un gran número de actividades y desempeñar distintas tareas.

Adicionalmente, con base en el trabajo realizado por Roosenbloom [20] se demuestra los beneficios que ofrece la implementación de grafos de factor en comparación con otros métodos de resolución de problemas. Debido a que los grafos de factor integran razonamiento simbólico y probabilístico, lo que genera un razonamiento más general bajo incertidumbre, permiten uniformidad a nivel de la implementación en arquitecturas cognitivas como *SOAR*[20].

Por último, la intención es contribuir en el desarrollo de las arquitecturas cognitivas, ya que representan una gran y novedosa herramienta [15] con capacidades de resolución de problemas a un nuevo nivel computacional.

## 1.3. Alcance

Debido a la gran complejidad que representa la implementación de una arquitectura cognitiva, este trabajo se limita a aumentar la capacidad de un solo marco de trabajo, en particular, la arquitectura *SOAR*. Partiendo del artículo de Roosenbloom, esta tesis implementa los grafos de factor para demostrar que representan una herramienta útil en este tipo de arquitecturas.

Por otro lado, al tratarse de un marco de trabajo, la validación de la implementación consiste en medir el desempeño del sistema al realizar diferentes tareas de resolución de problemas que, con anterioridad, *SOAR* es capaz de desempeñar y este trabajo analiza la mejora o deterioro de la implementación.

## 1.4. Justificación

La investigación y desarrollo de las arquitecturas cognitivas es importante pues ayuda a fundamentar el objetivo central de la Inteligencia Artificial y las Ciencias Cognitivas. El objetivo es la creación y entendimiento de agentes sintéticos que tengan las mismas capacidades cognitivas de los humanos.

Sin embargo, aunque los campos de estudio entre la Psicología y la Inteligencia Artificial se han distanciado en los últimos veinte años, la investigación dentro de este paradigma cognitivo, permitirá ahondar en el entendimiento del funcionamiento y naturaleza de la mente humana. De la misma forma, se puede reconstruir las relaciones que se han perdido con la psicología y sustentarlas con principios neurológicos para la creación de nuevas teorías de aprendizaje y modelos de representación del conocimiento.

No solo por beneficiar a las teorías de aprendizaje se justifica el estudio en arquitecturas cognitivas, también es importante resaltar que la complejidad de los procesos cognitivos en el ser humano son dignas de estudio al ser un paradigma que representa grandes retos y oportunidades de desarrollo [13] .

Adicionalmente, la creación de arquitecturas cognitivas como fundamentos para sistemas más complejos implica una mayor capacidad de creación de agentes inteligentes capaces de resolver problemas de manera eficiente, lo cual beneficia a la humanidad como una herramienta más de procesamiento y desarrollo tecnológico.

Por último, las arquitecturas cognitivas conforman una oposición a los sistemas expertos, ya que estas arquitecturas amplían su dominio del conocimiento con base en procesos funcionales que modifican su propio conocimiento, creencias y objetivos por medio de mecanismos de aprendizaje que dependen, en su mayoría de situaciones del entorno del agente [14]. Mientras que los sistemas expertos, son orientados a lograr una mayor eficiencia en actividades con límites bien definidos y reducen su dominio del conocimiento a problemas en específico.

## 1.5. Metodología

### 1.5.1. Análisis del Problema

Los grafos de factor permiten el modelado de problemas de estimación complejos. Esta herramienta cuenta con capacidades funcionales útiles para las arquitecturas cognitivas. Sin embargo, no es la única herramienta capaz de desempeñar dichas funciones. Por lo tanto, se analizaron diferentes métodos capaces de ejercer las mismas actividades. Debido a lo anterior, se deben hacer las comparaciones adecuadas para justificar la superioridad de los grafos de factor ante las demás herramientas. No obstante, se debe tener en cuenta que el problema se delimita a comprobar dichos beneficios únicamente en la arquitectura *SOAR*.

Por último, se debe conocer con profundidad el funcionamiento del marco de trabajo *SOAR* para poder adecuar una solución que sea compatible con esta arquitectura. Afortunadamente, este marco de trabajo es de libre código y es de los más populares y utilizados. Sin embargo, eso no implica que el nivel de dificultad disminuya.

### 1.5.2. Investigación

En primer lugar, hay que analizar qué se entiende por una arquitectura de computadoras, sus componentes, especificaciones, tipos, utilidad, entre otras características útiles que nos permitirán comprender el problema con el que se está trabajando. En segundo lugar, ya que este trabajo se enfoca solamente en la arquitectura *SOAR*, se indagó en la funcionalidad de este marco de trabajo para poder implementar una solución. En tercer lugar, se realizó una investigación exhaustiva referente a los grafos de factor y sus propiedades, ya que es necesario conocer a detalle el funcionamiento, ventajas y desventajas que presenta esta herramienta para poder construir una implementación adecuada y sin errores.

### 1.5.3. Comparación de métodos

Se investigaron diversos métodos capaces de desempeñar las mismas tareas. De esta forma, se justifica la implementación de grafos de factor y la anexión de un

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

nuevo módulo a la arquitectura cognitiva *SOAR*.

Se utilizó su desempeño y facilidad de implementación como factor para llevar a cabo su comparación. Por lo tanto, se modelaron diversas tareas y problemas que los diferentes modelos debían ejecutar y resolver, respectivamente.

### 1.5.4. Implementación

De acuerdo con los resultados obtenidos, se llevó a cabo la implementación de los grafos de factor. Adicionalmente, debido a que gran parte del marco de trabajo *SOAR* se encuentra implementado con ayuda de lenguajes como Python y Java, se decidió construir una solución con base en estos mismos lenguajes.

### 1.5.5. Comparación de resultados

Con el propósito de verificar que existe una mejora con respecto al estado previo de la arquitectura cognitiva con la implementación de los grafos de factor, se mide el desempeño con respecto al tiempo y eficiencia de los resultados obtenidos después de haber ejecutado diversas pruebas construidas especialmente para medir esta rúbrica.

## Capítulo 2

# Marco Teórico

### 2.1. Arquitecturas de Computadoras

En concreto, una arquitectura de computadora nos ayuda a especificar los estándares de tecnología se usaran con respecto al software y de hardware de una computadora. Esto quiere decir que una arquitectura ayuda a establecer el diseño de una computadora y las tecnologías con las que este es compatible. Cualquier persona que se dedique a diseñar una arquitectura, debe estar consciente de que debe crear un diseño lógico capaz de satisfacer cualquiera de las necesidades que presente un usuario o un sistema.

La tarea de un diseñador es compleja. Este debe poder determinar los atributos elementales con los que debe contar su diseño con el fin de maximizar el desempeño y asegurarse que el gasto energético sea de forma eficiente cumpliendo siempre con las restricciones de costo, poder y disponibilidad.

Dentro de las diversas tareas de un diseñador de arquitecturas de computadora, encontramos dos principales: el diseño del conjunto de instrucciones y la implementación [9].

### 2.1.1. Conjunto de Instrucciones

El conjunto de instrucciones o ISA (por sus siglas en inglés, “Instruction Set Architecture”) es un grupo de reglas con las cuales el software y el hardware se comunican entre sí. Estas reglas describen las operaciones, los estados y las localidades que soporta el hardware.

Existen diversos modelos de ISA, entre los más conocidos, podemos encontrar: CISC (por sus siglas en inglés “Complex Instruction Set Computing”) que como su nombre lo indica, permite realizar operaciones muy complejas y se caracterizan por que cada instrucción cuenta con una gran longitud. RISC es otro modelo (“Reduce Instruction Set Computing”) el cual cuenta con instrucciones de tamaño fijo y un reducido número de formatos, el objetivo de este modelo es propiciar la segmentación y el paralelismo.

### 2.1.2. Arquitectura Von Neumann

Además de ISA la implementación de los componentes representa un papel muy importante. Dentro de las principales arquitecturas, encontramos la de *Von Neumann*. Esta arquitectura se describe por primera vez en 1945 en el reporte escrito por Von Neumann [24]. Los sistemas con microprocesadores se basan en esta arquitectura, en la cual la unidad central de proceso (CPU), está conectada a una memoria principal única donde se guardan las instrucciones del programa y los datos. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único

### 2.1.3. Arquitectura Harvard

Por otro lado, contamos con la arquitectura Harvard. El término proviene de la computadora *Harvard mark I*, que almacenaba las instrucciones en cintas perforadas y los datos en interruptores. Esta computadora fue el primer ordenador electromecánico construido en la Universidad Harvard por Howard H. Mark en 1944. En esta arquitectura se utilizan dispositivos separados para las instrucciones y los datos, para que haya mayor rapidez se utiliza la memoria cache dividida, para procesar los datos e instrucciones, es efectivo cuando la lectura de datos e instrucciones es la misma.

Como se puede notar, dentro de la arquitectura de von Neumann, el procesador se puede encontrar leyendo una instrucción o escribiendo datos desde o hacia la memoria, pero ambos procesos no pueden ocurrir al mismo tiempo ya que las instrucciones y datos usan el mismo sistema de buses. En una computadora que utiliza la arquitectura Harvard, el procesador puede tanto leer una instrucción como realizar un acceso a la memoria de datos al mismo tiempo.

## 2.2. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) como disciplina formal ha sido estudiada por más de 50 años. En sus inicios, uno de los principales objetivos de esta disciplina era determinar si una computadora era capaz de “pensar”, esta pregunta es igualmente abordada por Alan Turing[23] en su obra *Computing Machinery and Intelligence*. La Inteligencia Artificial de manera simple puede ser definida como: el estudio de procesos mentales o intelectuales en términos de procesos computacionales [21]. Sin embargo, esta definición varía dentro de la literatura [8, 3, 25].

Como se puede apreciar, la Inteligencia Artificial tiene una relación intrínseca con la Psicología, las Ciencias Cognitivas y, a su vez, con las Ciencias en Computación. Sin embargo, la Inteligencia Artificial no es Psicología, la distinción recae en que una de las mayores preocupaciones de la Inteligencia Artificial es comprender de qué manera es posible otorgarle a las computadoras una capacidad tan sofisticada como lo es actuar de forma “inteligente”.

Adicionalmente, podemos decir que la Inteligencia Artificial intenta entender y crear *agentes inteligentes* capaces de pensar racionalmente. Se enfoca en la inteligencia a través del pensamiento y la razón. Si este es el caso, se tiene que poder determinar cómo los seres humanos piensan. Se necesita indagar en el funcionamiento de las mentes humanas [4].

Actuar racionalmente significa desempeñar alguna actividad para alcanzar los objetivos, con base en las creencias de una persona. Un agente es simplemente algo que percibe y actúa. En este enfoque, la IA es vista como el estudio y construcción de agentes racionales [21].

La IA es un componente base de las ciencias en computación debido a su abs-

tracción, programación y formalismos lógicos. La IA desarrolla herramientas conceptuales para poder comprender cómo se procesa la información y estas herramientas son indispensable para que la psicología pueda entender cómo la información es procesada por los seres humanos [19].

El campo interdisciplinario de ciencia cognitiva reúne modelos informáticos de IA y técnicas experimentales de psicología para tratar de construir teorías precisas y comprobables del funcionamiento de la mente humana.

### 2.3. Cómputo Cognitivo

A lo largo la vida, los seres humanos, observan, perciben y reflexionan sobre el medio ambiente y el mundo que los rodea. Reciben información del mundo a través de sus acciones, experiencias y sentidos. De tal forma, que para poder internalizar toda esta información, es lógico pensar que la comunicación es difusa, ambigua, esencial para expresar nuestras experiencias [13].

Hoy en día, los humanos crean sistemas virtuales que emulan e interactúan con nuestro medio ambiente físico. El propósito de estos sistemas, es lograr que interactúen de forma dinámica y autónoma, que razonen, actúen y se comuniquen de manera similar a como lo hacen los seres humanos. El principal objetivo del Cómputo Cognitivo es crear sistemas complejos que imiten los procesos de cognición que llevan a cabo los humanos [6].

En general, se entiende a la mente como una colección de procesos de sensación, percepción, acción, emoción y cognición. La Computación Cognitiva se enfoca a desarrollar un enfoque coherente, mecanismo unificado y universal con base en las capacidades de la mente. El argumento principal del Cómputo Cognitivo es que las neuronas y las sinápsis pueden ser descritas por modelos matemáticos relativamente compactos, funcionales y fenomenológicos [16].

La motivación primordial del Cómputo Cognition es el hecho de que el comportamiento del cerebro aparentemente se rige de manera no aleatoria, con interacciones entre unidades funcionales individuales de control. Esto describe la formación de sistemas complejos, los cuales, cabe la posibilidad de ser modelados por computadora y simulados para su análisis [16]



Inteligencia cognitiva real tiene varias manifestaciones, incluyendo la capacidad de adaptarse a situaciones desconocidas en entornos cambiantes dinámicamente.

## 2.4. Arquitecturas Cognitivas

Como se ha mencionado repetidamente en los párrafos anteriores, un objetivo de la IA consiste en crear agentes racionales capaces de superar el nivel de competencia ante los humanos. A lo largo de los años se ha observado un gran avance en diferentes áreas en dónde la IA supera a la mente humana: reconocimiento de patrones, memorización, recuperación de grandes volúmenes de información, interpretación de señales, entre otros. No obstante, cuando se hablan de funciones de cognición de bajo nivel como el reconocimiento de objetos, la IA se encuentra por muy debajo del desempeño de su contraparte natural, la mente humana. Adicionalmente, funciones cognitivas de nivel superior como el lenguaje, el razonamiento, la resolución de problemas o la planificación involucran estructuras del conocimiento complejas y son considerablemente más difícil de implementar.

Si hacemos una comparación podemos observar que los diferentes tipos de memoria que almacenan información en el cerebro facilitan el reconocimiento, asociación semántica, interpretación y recuperación de un gran número de patrones de información complejos. Por otro lado, la organización, almacenamiento y recuperación de información en las computadoras es completamente diferente. Las arquitecturas de computación solo aparentan ser universales, en la práctica siempre se limita el procesamiento de información de manera específica [7].

Una Arquitectura Cognitiva especifica la infraestructura subyacente de un sistema inteligente. En concreto, una arquitectura incluye aquellos aspectos de un agente cognitivo que son constantes a lo largo del tiempo y entre diferentes dominios de aplicación [14].

Las Arquitecturas Cognitivas casi siempre son elaboradas con el propósito de modelar el rendimiento humano en múltiples tareas con respecto a diferentes situaciones. Como se ha mencionado antes Allen Newell en su libro [18] explica que el principal objetivo de construir una arquitectura cognitiva, es poder formular una teoría coherente y unificada inspirada en las capacidades de la mente

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

humana. Adicionalmente, proporciona doce criterios para la evaluación de los sistemas cognitivos: conducta adaptativa, comportamiento dinámico, comportamientos flexibles, desarrollo, evolución, el aprendizaje, la integración de conocimientos, amplia base de conocimientos, lenguaje natural, rendimiento en tiempo real, y la realización del cerebro.

Tres propiedades de diseño clave que subyacen en el desarrollo de cualquier arquitectura cognitiva son la memoria, el aprendizaje y la representación del conocimiento [14, 7]. Varios tipos de memoria sirven como depósito para la gran cantidad de información, conocimientos y creencias sobre el mundo y de uno mismo; por otro lado, el aprendizaje es el proceso principal que da forma a este conocimiento. La organización de la memoria depende de los esquemas de representación del conocimiento.

No está claro en absoluto si las arquitecturas cognitivas, que se ejecuta en ordenadores convencionales, llegarán a la flexibilidad del cerebro en las funciones cognitivas de nivel superior o inferior.

### 2.5. SOAR

*SOAR* (por sus siglas en inglés: “State, Operator And Result”) es una arquitectura para poder construir un sistema que sea capaz de ejecutar inteligencia general. *SOAR* cuenta con la capacidad de: primero, trabajar en una amplia gama de tareas, desde problemas rutinarios hasta extremadamente difíciles; segundo, utiliza una gran diversidad de métodos para la resolución de problemas e implementa representaciones adecuadas para dichos problemas; por último aprende sobre las características de los problemas que soluciona y analiza cuál fue su propio desempeño dentro de las diferentes tareas.

*SOAR* es uno de los muchos sistemas de IA que han intentado proporcionar una organización apropiada con capacidades similares a un agente inteligente y racional. Esta arquitectura tiene su raíces con la aparición del concepto de arquitectura cognitiva [17]. *SOAR* ha estado en continuo desarrollo desde principios de 1980.

El conocimiento procedimental a largo plazo en esta arquitectura toma la forma de reglas de producción, que son a su vez organizada en términos de los ope-

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

radorez asociados con espacios de los problemas. Algunos operadores describen acciones simples, primitivas que modifican el estado interno del agente o generan acciones externas primitivas. Durante muchos años, *SOAR* a utilizado el modelo anteriormente mencionado para representar el conocimiento a largo plazo. Recientemente, se han añadido recuerdos episódicos y semánticos diferentes. La memoria episódica mantiene un historial de estados anteriores, mientras que la memoria semántica contiene hechos conocidos previamente[12].

Todas las tareas en *SOAR* se formulan como intentos de lograr objetivos. Los operadores realizan los básicos actos deliberativos del sistema, con conocimientos utilizados para determinar dinámicamente su selección y solicitud. El ciclo de procesamiento básico propone repetidamente, selecciona y aplica operadores de la espacio del problema actual a un estado de problema siguiente, avanzando una decisión a la vez. Sin embargo, cuando el conocimiento acerca de la selección del operador es insuficiente para determinar el siguiente operador o cuando un operador abstracto no puede ser implementado, un callejón sin salida se produce; en respuesta, *SOAR* crea un nuevo objetivo para determinar qué operador debe seleccionar o cómo se debe aplicar el operador abstracto[14].

Dentro de las capacidades de *SOAR* podemos encontrar:

- trabajar con una amplia gama de tareas, como se espera de un agente inteligente,
- utilizar y representar de manera adecuada el conocimiento,
- utilizar métodos de resolución de problemas,
- interactuar con el medio ambiente,
- aprender sobre su propio desempeño en las tareas que realiza

Al igual que los sistemas de resolución de problemas y razonamiento en IA más comunes, *SOAR* tiene una representación simbólica explícita de sus tareas, que se manipula por procesos simbólicos. Codifica su conocimiento de la tarea en un ambiente de estructuras simbólicas e intenta utilizar este conocimiento para guiar su comportamiento. Tiene un esquema general de los objetivos y sub-objetivos para la representación de lo que el sistema quiere lograr controlar su comportamiento [12].

## 2.6. Modelos Gráficos

### 2.6.1. Redes Bayesianas

Las redes bayesianas son una representación gráfica de dependencias para razonamiento probabilístico, en la cual los nodos representan variables aleatorias y los arcos representan relaciones de dependencia directa entre las variables [22]. Una red bayesiana es un grafo acíclico dirigido (al que llamaremos  $G$ ) junto con una distribución de probabilidad particular ( $p$ ).

Una red bayesiana representa en forma gráfica las dependencias e independencias entre variables aleatorias, en particular las independencias condicionales. Lo anterior se representa con la siguiente notación, para el caso de  $X$  independiente de  $Y$  dado  $Z$ :  $P(X|Y, Z) = P(X|Z)$

Cada nodo tiene asociado una función de probabilidad que toma como entrada un conjunto particular de valores de las variables padres del nodo y devuelve la probabilidad de la variable representada por el nodo. Por ejemplo, si por padres son  $m$  variables booleanas entonces la función de probabilidad puede ser representada por una tabla de  $2^m$  entradas, una entrada para cada una de las  $2^m$  posibles combinaciones de los padres siendo verdadero o falso.

Siempre es posible representar a una distribución conjunta como un producto de condicionales de una sola variable. Dado un ordenamiento  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , podemos escribir (por la regla del producto):

$$p(x_1, \dots, x_k) = p(x_1)p(x_2|x_1)p(x_3|x_1, x_2) \cdots p(x_k|x_1, \dots, x_{k-1})$$

En primer lugar, una factorización de la conjunta puede ser entendida como una parametrización particular de la conjunta a través de sus distribuciones condicionales. En segundo lugar, los grafos dirigidos acíclicos asociados a una distribución conjunta dan una factorización particular  $p$  para la conjunta [10].

Sea  $G$  un grafo dirigido con vértices  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , denotamos por  $Pa(x_i)$  a todos los padres de  $X_i$  en  $G$ .

Sea  $p$  una distribución conjunta para  $X_1, X_2, \dots, X_k$ . Decimos que  $G$  representa

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

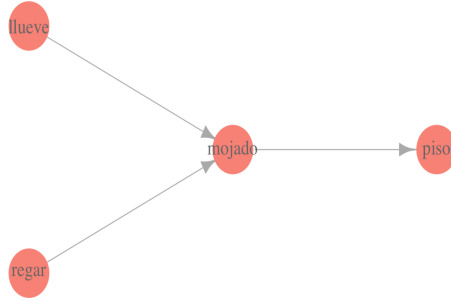
a  $p$  cuando la conjunta se factoriza como:

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^k p(x_i | Pa(x_i))$$

.

El conjunto de distribuciones que son representadas por  $G$  lo denotamos por  $M(G)$ . Nótese que un grafo acíclico no dirigido no establece una distribución particular, sino un conjunto de posibles distribuciones: todas las distribuciones que se factorizan bajo  $G$ .

Figura 2.1: Ejemplo de una Red Bayesiana



Por ejemplo, en la Figura 2.1 podemos observar que la conjunta  $p(m, l, r, z)$  ( $z$  es piso resbaloso) se factoriza como:  $p(l)p(r)p(m|l, r)p(z|m)$

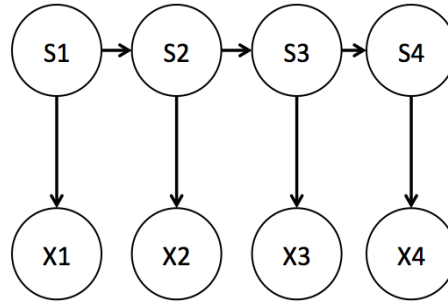
### 2.6.2. Modelos Ocultos de Markov

Un modelo oculto de Markov es una cadena de  $q$  junto con un proceso estocástico que toma valores en un alfabeto  $\Sigma$  y el cual depende de  $q$ . Estos sistemas evolucionan en el tiempo pasando aleatoriamente de estado a estado y emitiendo en cada momento al azar algún símbolo del alfabeto  $\Sigma$ . Cuando se encuentra en el estado  $q_{t-1} = i$ , tiene la probabilidad  $a_{ij}$  de moverse al estado  $q_t = j$  en el siguiente instante y la probabilidad  $b_j(k)$  de emitir el símbolo  $o_t = v_k$  en el tiempo  $t$ . Sólomente los símbolos emitidos por el proceso  $q$  son observables, pero no la ruta o secuencia de estados  $q$ , de ahí el calificativo de “oculto” de Markov, ya que el proceso de Markov  $q$  es no observado.

Consideramos datos secuenciales  $X_1, \dots, X_T$ . Un modelo markoviano de esta-

do oculto se factoriza como (es decir, cumple las relaciones de independencia condicional indicadas en el el grafo de la Figura 2.2):

Figura 2.2: Ejemplo de una cadena oculta de Markov



Las variables  $S_t$  (estado oculto) son latentes. Las variables  $X_t$  no son independientes, pero son condicionalmente independientes dados los estados ocultos. El modelo está dado por una factorización que solo incluye términos de la forma  $P(S_t|S_{t-1})$ ,  $P(X_t|S_t)$  y  $P(S_1)$ . En los modelos de transición de estados suponemos homogeneidad de la cadena de Markov subyacente, es decir,  $P(S_t = j|S_{t-1} = i) = p_{ij}$  no depende de  $t$ .

En los modelos de respuesta o de observación, las variables observadas  $X_t$  pueden ser discretas o continuas. Si  $X_t$  son discretas, cada  $P(X_t|S_t)$  está dada por una tabla, que también suponemos homogénea (no depende de  $t$ ). Si  $X_t$  son continuas, entonces estas probabilidades están dadas por densidades condicionales.

### 2.6.3. Grafos de Factor

Este modelo grá proporciona una forma de “divide y vencerás” con componentes que pueden ser descompuestos para reducir el combinatoria que surge con funciones de múltiples variables. La función podría ser una probabilidad conjunta distribuci’ón sobre un conjunto de variables aleatorias o un problema que implica la satisfacción de restricciones sobre un conjunto de variables

La operación de gráfico típica es el factor de cálculo de las marginales en las variables. Para una distribución de probabilidad conjunta, esto es simplemente

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

el marginal de una variable aleatoria, que se calcula con la suma de las otras variables:  $P(Y) = \sum_{v,w,x,z} P(v, w, x, Y, z)$

Para las probabilidades, la distribución conjunta se descompone en un producto de condicionales (*prior*) probabilidades sobre subconjuntos de las variables:  $P(V, W, X, Y, Z) = P(V)P(W)P(X|V, W)P(Y|X)P(Z|X)$

Tales descomposiciones derivan de la regla de la cadena y de supuestos de independencia condicional.

# Bibliografía

- [1] [www.research.ibm.com/software/ibmresearch/multimedia/computing\\_cognition\\_whitepaper.pdf](http://www.research.ibm.com/software/ibmresearch/multimedia/computing_cognition_whitepaper.pdf).  
[http://www.research.ibm.com/software/IBMResearch/multimedia/Computing\\_Cognition\\_WhitePaper.pdf](http://www.research.ibm.com/software/IBMResearch/multimedia/Computing_Cognition_WhitePaper.pdf). (Visited on 10/27/2015).
- [2] John R Anderson, Michael Matessa, and Christian Lebiere. Act-r: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12(4):439–462, 1997.
- [3] Richard Bellman. *An introduction to artificial intelligence: Can computers think?* Boyd & Fraser Publishing Company, 1978.
- [4] Rodney A Brooks. Intelligence without reason. *The artificial life route to artificial intelligence: Building embodied, situated agents*, pages 25–81, 1995.
- [5] Jaime Carbonell, Oren Etzioni, Yolanda Gil, Robert Joseph, Craig Knoblock, Steve Minton, and Manuela Veloso. Prodigy: An integrated architecture for planning and learning. *ACM SIGART Bulletin*, 2(4):51–55, 1991.
- [6] James A Crowder, John N Carbone, and Shelli A Friess. *Artificial Cognition Architectures*. Springer, 2014.
- [7] Wlodzislaw Duch, Richard Jayadi Oentaryo, and Michel Pasquier. Cognitive architectures: Where do we go from here? In *AGI*, volume 171, pages 122–136, 2008.
- [8] John Haugeland. *La inteligencia artificial*. Siglo XXI, 1988.



## BIBLIOGRAFÍA

- [9] John L Hennessy and David A Patterson. *Computer architecture: a quantitative approach*. Elsevier, 2011.
- [10] Daphne Koller and Nir Friedman. *Probabilistic graphical models: principles and techniques*. MIT press, 2009.
- [11] John E. Laird, Allen Newell, and Paul S. Rosenbloom. Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33(1):1 – 64, 1987.
- [12] John E Laird, Allen Newell, and Paul S Rosenbloom. Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial intelligence*, 33(1):1–64, 1987.
- [13] Pat Langley. Intelligent behavior in humans and machines. Technical report, (Technical Report). Computational Learning Laboratory, CSLI, Stanford University, 2006.
- [14] Pat Langley, John E Laird, and Seth Rogers. Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10(2):141–160, 2009.
- [15] Pat Langley, Kathleen B McKusick, John A Allen, Wayne F Iba, and Kevin Thompson. A design for the icarus architecture. *ACM SIGART Bulletin*, 2(4):104–109, 1991.
- [16] Dharmendra S. Modha, Rajagopal Ananthanarayanan, Steven K. Esser, Anthony Ndirango, Anthony J. Sherbondy, and Raghavendra Singh. Cognitive computing. *Commun. ACM*, 54(8):62–71, August 2011.
- [17] Allen Newell. Production systems: Models of control structures. Technical report, DTIC Document, 1973.
- [18] Allen Newell. *Unified theories of cognition*. Harvard University Press, 1994.
- [19] Nils J Nilsson. *Principles of artificial intelligence*. Morgan Kaufmann, 2014.
- [20] Paul S Rosenbloom. Towards a new cognitive hourglass: Uniform implementation of cognitive architecture via factor graphs. In *Proceedings of the 9th international conference on cognitive modeling*, 2009.

## BIBLIOGRAFÍA

- [21] Stuart Russell and Peter Norvig. Artificial intelligence: a modern approach. 1995.
- [22] José Gerardo Torres-Toledano and Luis Enrique Sucar. Bayesian networks for reliability analysis of complex systems. In *Progress in Artificial Intelligence—IBERAMIA 98*, pages 195–206. Springer, 1998.
- [23] Alan M Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind*, pages 433–460, 1950.
- [24] John Von Neumann. First draft of a report on the edvac. *IEEE Annals of the History of Computing*, (4):27–75, 1993.
- [25] P Winston. Learning by building identification trees. *Artificial intelligence*, pages 423–442, 1992.