



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

SEDE VICTOR LEVI SASSO

FOLLETO DE

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

INCLUYE PRUEBAS SUMATIVAS Y PRESENTACIONES DEL CONTENIDO

ELABORADO POR:

DR. CARLOS A. ROVETTO R.

2021



Universidad Tecnológica de Panamá (UTP)

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Para ver esta licencia:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



Contenido

MODULO I: GENERALIDADES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	5
1. QUE ES INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	5
1.1. Definiciones.....	5
1.1.1. Inteligencia.....	5
1.1.2. Inteligencia Artificial	5
1.2. Ciencia Cognoscitiva.....	7
1.3. Introducción a la Inteligencia Artificial	7
1.3.1. Procesamiento Simbólico.....	7
1.3.2. Heurística.....	8
1.3.3. Comparación de patrones.....	9
1.4. Tecnología de Inteligencia Artificial.....	9
1.5. Áreas en Inteligencia Artificial	10
1.5.1. Áreas de investigación	10
1.5.2. Áreas de aplicación.....	12
1.6. Fundamentos de la Inteligencia Artificial	12
2. HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	21
2.1. Prehistoria de la Inteligencia Artificial y sus etapas.....	21
2.2. Prueba de Turing	23
2.3. La Conferencia de Dartmouth	24
2.3.1. Participantes y sus aportes	25
2.4. Inteligencia artificial en las universidades	26
2.5. Compañías de Inteligencia Artificial	28
MÓDULO II: ESTRATEGIAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL	31
3. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE BÚSQUEDA.....	31
3.1 Aspectos generales sobre el diseño de programas de búsquedas	31
3.2. Búsqueda ciega o sin información	32
3.2.1 Búsqueda primero en anchura.....	33
3.2.2. Búsqueda primero en profundidad.....	37
3.3. Búsqueda heurística.....	48
3.3.1. Búsqueda por ascenso de la colina	49



3.3.2.	Búsqueda primero el mejor	51
3.3.3.	Búsqueda en haz	55
3.3.4.	Búsqueda A*	60
3.4.	Búsqueda en problemas de juego.....	63
3.4.1.	Definición formal de juego.....	63
3.4.2.	Procedimiento Minimax.....	63
3.4.3.	Procedimiento Alfa – Beta.....	68
4.	PROBLEMAS Y ESPACIOS DE ESTADOS	78
4.1.	Definición del problema mediante una búsqueda en espacio de estados	79
4.2.	Los sistemas de producción	81
4.3.	Características del problema.....	92
4.4.	Características de los sistemas de producción	103
5.	REPRESENTACIÓN Y MÉTODOS	104
5.1.	Redes semánticas y el método de descripción y pareamiento.....	105
5.2.	Generación y prueba, método de análisis de medios y metas, y el método de reducción del problema.....	109
5.3.	Reglas y encadenamiento de reglas	112
5.4.	Plantilla y herencia	113
MODULO III: ÁREAS DE INVESTIGACIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL....		117
6.	AGENTES INTELIGENTES.....	117
6.1.	Definiciones.....	117
6.2.	Proceder de un Agente Inteligente	119
6.3.	Estructura de un Agente Inteligente	120
6.4.	Tipos de Agentes Inteligentes	120
6.5.	Acoplar un Agente a un ambiente	123
6.6.	Lenguajes para la construcción de agentes	126
7.	SISTEMAS EXPERTOS	127
7.1.	Representación y uso del conocimiento del dominio	128
7.2.	Armazones de sistemas expertos	128
7.3.	Adquisición de conocimiento	129
7.4.	Ejemplo e historia.....	130
7.5.	Ventaja de los sistemas expertos.....	132



7.6. Proyectos con bases de conocimientos muy grandes	132
8. ROBÓTICA.....	134
8.1. Introducción.....	134
8.2. Para qué sirven los robots?.....	136
8.3. De qué están hechos los robots?	137
8.4. Arquitectura.....	138
8.5. Espacios de configuración	139
8.6. Navegación y planificación de movimientos.....	140
9. VISIÓN ARTIFICIAL.....	142
9.1. Digitalización	142
9.2. Procedimiento de bajo nivel	145
9.3. Recuperación de información tridimensional.....	145
9.4. Algoritmo de Waltz	147
9.5. Visión activa	147
9.6. Reconocimiento de objetos y escenas, y descripción de imágenes.....	148
10. LENGUAJE NATURAL.....	151
10.1. Procesamiento de señales.....	152
10.2. Sintaxis y análisis gramatical	153
10.3. Semántica y significado	156
10.4. Pragmática.....	159
10.5. Generación de Lenguaje Natural	162
ANEXO 1.....	165
ANEXO 2.....	176



MODULO I: GENERALIDADES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1. QUE ES INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Existen muchas definiciones en la literatura del término de inteligencia e Inteligencia Artificial, en esta sección se presentan algunas de ellas ubicando las mismas en categorías que nos permita entender mejor las dimensiones de su clasificación.

En primera instancia se presentan las definiciones básicas de ambos términos y luego se trabajará con las definiciones dadas en el libro de Russell and Norwing.

1.1. Definiciones

1.1.1. Inteligencia

Es la capacidad de aprender, comprender y emitir juicios o tener opiniones basadas en la razón.

1.1.2. Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es un área de la informática que tiene como objetivo crear máquinas inteligentes las cuales funcionan y reaccionan como los humanos.

En el cuadro que se presenta en la figura 1 se puede comparar las cuatro categorías de la definición de Inteligencia Artificial tomada del libro de Russell and Norwing. En la misma se muestran las definiciones según los enfoques que se han venido utilizando a lo largo de la historia. Se destaca la forma de medir éxito basados en la fidelidad en términos de la inteligencia humana o la racionalidad. También la dimensión de la definición en términos de los procesos mentales y razonamiento o de la conducta. Esta última forma de clasificación se muestra más claramente en el cuadro de la figura 2.



		Medidas del Éxito	
		En términos de Inteligencia Humana	En términos de Racionalidad
Dimensiones de la Definición	Procesos Mentales Y Razonamiento	Sistemas que piensan como humanos	Sistemas que piensan racionalmente
	Conducta	Sistemas que actúan como humanos	Sistemas que actúan racionalmente

<p><i>"El nuevo y excitante esfuerzo de hacer que los computadores piensen... máquinas con mentes, en el más amplio sentido literal". (Haugeland, 1985)</i></p> <p><i>"La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje..." (Bellman, 1978)</i></p>	<p><i>"El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales". (Charniak y McDermott, 1985)</i></p> <p><i>"El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar". (Winston, 1992)</i></p>
<p><i>"El arte de desarrollar máquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren de inteligencia". (Kurzweil, 1990)</i></p> <p><i>"El estudio de cómo lograr que los computadores realizan tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor". (Rich y Knight, 1991)</i></p>	<p><i>"La inteligencia Computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes". (Poole et al., 1998)</i></p> <p><i>"IA..... Está relacionada con conductas inteligentes en artefactos". (Nilson, 1998)</i></p>

Figura 1. Definiciones de la Inteligencia Artificial organizadas en cuatro categorías.



Figura 2. Dimensiones de la definición de Inteligencia Artificial.

1.2. Ciencia Cognoscitiva

Es el estudio interdisciplinario de la mente y la inteligencia. Esta abarca distintas áreas como la filosofía, la psicología, la inteligencia artificial, la neurociencia, la lingüística y la antropología. Podemos ubicar los orígenes intelectuales de esta ciencia a mediados de la década de 1950.

Esta ciencia tiene ideas teóricas unificadoras, sin embargo, es importante apreciar la diversidad de perspectivas y métodos que los investigadores de diferentes campos aportan al estudio de la mente y la inteligencia. Es bueno destacar que aunque los psicólogos cognitivos de hoy en día a menudo se dedican a teorizar y modelar computacionalmente, su método principal es la experimentación con participantes humanos.

La hipótesis central de esta ciencia es que el pensamiento se puede entender mejor en términos de estructuras representativas en la mente y procedimientos computacionales que operan en esas estructuras. Si bien hay mucho desacuerdo sobre la naturaleza de las representaciones y cálculos que constituyen el pensamiento, la hipótesis central es lo suficientemente general como para abarcar el rango actual de pensamiento en la ciencia cognitiva, incluidas las teorías conexionistas que modelan el pensamiento utilizando redes neuronales artificiales.

1.3. Introducción a la Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial utiliza diferentes enfoques para encontrar soluciones a distintos problemas de la vida real algunos de ellos son: procesamiento simbólico, heurísticas, reconocimiento de patrones, entre otros. En esta sección se presentan las definiciones de estos enfoques.

1.3.1. Procesamiento Simbólico

En el procesamiento simbólico se utilizan los símbolos combinados con reglas generales para procesar información y resolver problemas. Este fue el paradigma



dominante de la investigación de la IA desde mediados de la década de 1950 hasta finales de la década de 1980. Se basan en representaciones "simbólicas" (legibles) de alto nivel de problemas, lógica y búsqueda.

Un problema se representa como una colección de símbolos (números o cadenas de caracteres que representan objetos del mundo real o ideas) y se desarrollan algoritmos adecuados para procesar estos símbolos.

El procesamiento simbólico representa un alto nivel de proceso cognitivo: corresponde al pensamiento consciente, donde se representa, manipula y examina el conocimiento.

Ejemplos de procesamiento de simbólico utilizados en la Inteligencia Artificial son: Lógicas proposicionales y de predicados, reglas de producción, marcos, guiones, redes semánticas, redes bayesianas, lógica difusa

1.3.2. Heurística

La idea de los métodos heurísticos en IA se basa en la ciencia cognitiva o el estudio de cómo piensan los humanos. El objetivo de un algoritmo heurístico es aplicar un enfoque de regla general para producir una solución en un marco de tiempo razonable que sea lo suficientemente bueno para resolver el problema en cuestión. A menudo nos referimos a la solución como "suficientemente buena" en la mayoría de los casos. El método empleado no garantiza que sea óptimo pero es suficiente para lograr los objetivos inmediatos.

La razón por la que se utilizan métodos heurísticos en la IA es que algunos problemas no se pueden resolver o requieren demasiado tiempo o potencia de procesamiento para ser razonables para resolver el problema en cuestión. En estos casos la heurística puede acortar el tiempo que la computadora tiene que trabajar para resolver ese problema.



Una técnica heurística, a menudo llamada simplemente heurística, es cualquier enfoque para la resolución de problemas, el aprendizaje o el descubrimiento que emplea un método práctico que no se garantiza que sea óptimo o perfecto, pero suficiente para los objetivos inmediatos. Donde encontrar una solución óptima es imposible o poco práctico, se pueden usar métodos heurísticos para acelerar el proceso de encontrar una solución satisfactoria.

1.3.3. Comparación de patrones

La comparación de patrones o reconocimiento de patrones es el reconocimiento automático de patrones y regularidades en los datos mediante el uso de algoritmos informáticos. Estas regularidades se usan para realizar distintas tareas como por ejemplo clasificar los datos en diferentes categorías, predecir tendencias, configuraciones particulares de características en imágenes que identifican objetos, combinaciones frecuentes de palabras y frases para el procesamiento del lenguaje natural (PNL), entre otros.

Entre los enfoques que se utilizan en el reconocimiento de patrones están: el aprendizaje automático y el uso de reglas o heurísticas hechas a mano (no aprendidas).

1.4. Tecnología de Inteligencia Artificial

El estudio de la Inteligencia Artificial se basa en diversas tecnologías o técnicas:

- **Redes neuronales artificiales:** Sistemas que imitan el funcionamiento del cerebro humano, específicamente su estructura, procesamiento y capacidad de aprendizaje. Cuentan con elementos con una gran cantidad de interconexiones, similares a las neuronas, que realizan procesos simples y permiten la adquisición y distribución de conocimiento.



- Algoritmos genéticos: Métodos adaptativos, basados en procesos genéticos de organismos biológicos, que permiten la resolución de problemas de búsqueda y optimización.
- Procesamiento de lenguaje natural: Análisis de la semántica y la sintaxis del lenguaje humano con el fin de lograr una fácil y eficiente interacción entre un humano y un computador, el cual utiliza una serie de algoritmos para procesar la información (voz o texto) como entrada.
- Machine learning y Deep learning: Ambos se basan en el procesamiento de grandes cantidades de datos. Machine learning (aprendizaje automático) implica a aquellos sistemas capaces de utilizar actividades previas para aprender y corregir errores. Deep learning (aprendizaje profundo) va más allá e incorpora la capacidad de tomar decisiones.
- Computación cognitiva: Combina la ciencia de la computación y la ciencia cognitiva para el desarrollo de sistemas con aprendizaje a escala. Se resuelven problemas y se optimizan procesos humanos, ya que se utilizan algoritmos que se basan en la extracción de datos, reconocimiento visual y procesamiento de lenguaje natural.

1.5. Áreas en Inteligencia Artificial

En esta sección se presentan las distintas áreas en las que se realizan investigaciones y se aplica la Inteligencia Artificial. Es preciso indicar que en algunos de estos casos se pueden repetir estas áreas en investigación y aplicación dado que están directamente relacionado.

1.5.1. Áreas de investigación

La investigación asociada con la inteligencia artificial es muy especializada y se desarrolla en diferentes áreas entre ellas podemos mencionar las siguientes:



- Ingeniería del conocimiento es una parte central de la investigación de Inteligencia Artificial. Las máquinas a menudo pueden actuar y reaccionar como los humanos solo si tienen abundante información relacionada con el mundo. La inteligencia artificial debe tener acceso a objetos, categorías, propiedades y relaciones entre todos para implementar la ingeniería del conocimiento.
- Aprendizaje automático también es una parte central de la Inteligencia Artificial. El aprendizaje sin ningún tipo de supervisión requiere la capacidad de identificar patrones en flujos de entradas, mientras que el aprendizaje con supervisión adecuada implica la clasificación y las regresiones numéricas.
- La clasificación determina la categoría a la que pertenece un objeto y la regresión se ocupa de obtener un conjunto de ejemplos de entradas o salidas numéricas, descubriendo así funciones que permiten la generación de salidas adecuadas a partir de las entradas respectivas.
- El análisis matemático de los algoritmos de aprendizaje automático y su rendimiento es una rama bien definida de la informática teórica, a menudo denominada teoría del aprendizaje computacional.
- Percepción se ocupa de la capacidad de usar entradas sensoriales para deducir los diferentes aspectos del mundo.
- Visión por computadora analiza las entradas visuales con algunos subproblemas como el reconocimiento facial, de objetos y gestos.
- Robótica: también es un campo importante relacionado con la IA. Los robots requieren inteligencia para manejar tareas como la manipulación y navegación de objetos, junto con subproblemas de localización, planificación de movimiento y mapeo.



1.5.2. Áreas de aplicación

Algunas de las actividades para las que están diseñadas las computadoras con inteligencia artificial incluyen:

- reconocimiento de voz
- aprendizaje
- planificación
- resolución de problemas
- razonamiento
- percepción
- capacidad para manipular y mover objetos.

Estas áreas de aplicación están muy relacionadas con las de investigación que se explicaron en la sección anterior.

1.6. Fundamentos de la Inteligencia Artificial

Muchas disciplinas han contribuido con el avance de la Inteligencia Artificial como se muestra en la figura 3.



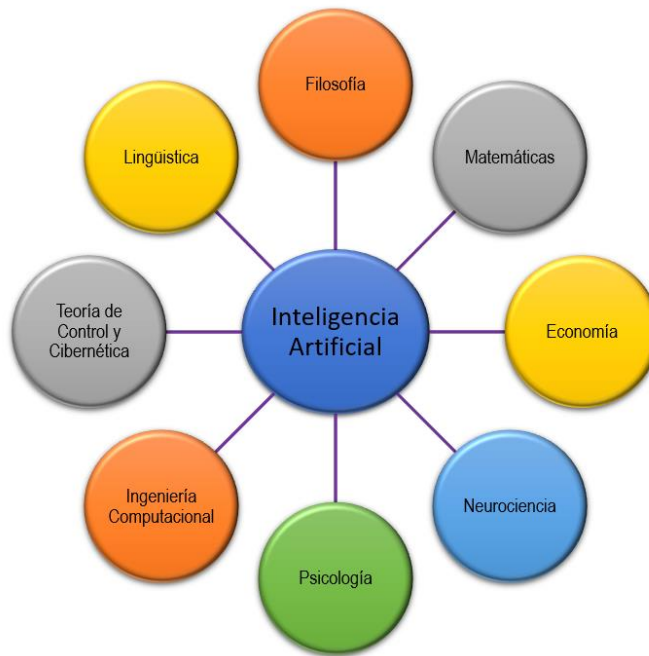


Figura 3. Disciplinas que han contribuido con el avance de la Inteligencia Artificial.

A continuación se describen los aportes de cada una de estas disciplinas que conforman la base de la Inteligencia Artificial:

- Filosofía (desde el año 428 a.C. hasta el presente)
 - Aristóteles fue el primero en formular un conjunto preciso de leyes que gobiernan la parte racional de la inteligencia, también desarrolló un sistema informal para razonar adecuadamente con silogismos.
 - Thomas Hobbes propuso que el razonamiento era como la computación numérica.
 - Wilhelm Shickard construyó la primera máquina calculadora en 1623.
 - Rene Descartes proporciona la primera discusión clara sobre la distinción entre la mente, la materia y los problemas que surgen.
 - David Hume propuso el principio de inducción.



- Rudolf Carnap desarrolló la doctrina del positivismo lógico, sostiene que todo el conocimiento se puede caracterizar mediante teorías lógicas relacionadas.
 - La teoría de la confirmación de Carnap y Carl Hempel, intenta explicar cómo el conocimiento se obtiene a partir de la experiencia.
 - El algoritmo de Aristóteles se implementa 2300 años después por Newell y Simon con la ayuda de su programa Sistema de Planificación Regresivo (SRGP).
 - El análisis en base a objetivos es útil, pero éste no nos indica cuando varias acciones nos llevan a la consecución del objetivo, o cuando ninguna acción facilita su completa consecución. John Stuart Mill propone la idea de un criterio de decisión racional en todos los ámbitos de la actividad humana.
- Matemáticas (aproximadamente desde el año 800 al presente)
Esta disciplina se conforma por áreas fundamentales: lógica, computación y probabilidad. En el siguiente cuadro se muestran los aportes más importantes en cada una de estas áreas.

Lógica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El concepto de Lógica formal comenzó con el trabajo de George Boole, quien define por primera vez la lógica proposicional o Booleana. ➤ Gorrlob Frege extendió la lógica de Boole para incluir objetos y relaciones y creó la lógica de primer orden. ➤ El primer algoritmo no trivial es el algoritmo Euclídeo para el cálculo del máximo común divisor.
--------	---



	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En 1930 Kurt Gödel demostró que existe un procedimiento eficiente para demostrar cualquier aseveración verdadera en la lógica de primer orden, sin embargo no era posible capturar el principio de inducción matemática necesario para la caracterización de los números naturales.
Computación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La máquina de Turing es capaz de calcular cualquier función computable. ➤ Turing también demostró que existen algunas funciones que no se pueden calcular mediante la máquina de Turing. ➤ La teoría de la NP-completitud propuesta por primera vez por Steven Cook y Richard Karp demostraron la existencia de grandes clases de problemas de razonamiento y búsqueda combinatoria canónica que son NP completos.
Probabilidad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gerolamo Cardano fue el primero en proponer la idea de la probabilidad, presentándola en términos de los resultados de juegos de apuesta. ➤ Thomas Bayes propuso la regla para la actualización de probabilidades subjetivas a la luz de nuevas evidencias. La regla de Bayes y el área resultante llamado análisis Bayesiano conforman la base de las propuestas más modernas que abordan el razonamiento incierto en sistemas de IA.

- Economía (desde el año 1776 hasta el presente)



- La idea comenzó en 1776 gracias a Adam Smith, quien decía que las economías pueden concebirse como un conjunto de agentes individuales que intentan maximizar su propio estado de bienestar económico.
- La teoría de la decisión combina la teoría de la probabilidad con la teoría de la utilidad, proporciona un marco completo y formal para la toma de decisiones.
- Teoría de juegos. Las acciones de un jugador pueden afectar significativamente a la utilidad de otro.
- Investigación operativa. Se obtienen los resultados de las acciones en forma secuencial.

- Neurociencia (desde el año 1861 hasta el presente)
 - Es el estudio del sistema neurológico, la forma exacta en que un cerebro genera el pensamiento.
 - Se sabía que el cerebro estaba formado por neuronas, pero no fue hasta 1873 que se pudo observar las neuronas individuales en el cerebro.
 - Se ha logrado conocer que partes del cerebro están relacionadas con que partes del cuerpo.
 - La conclusión verdaderamente increíble es que una colección de simples células puede llegar a generar razonamientos, acción y conciencia, o dicho en otras palabras, los cerebros generan la inteligencia.

- Psicología (desde el año 1879 hasta el presente)
 - La psicología científica se inició con los trabajos del físico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894), y su discípulo Wilhelm Wundt (1823-1894). Helmholtz aplicó el método científico al estudio de la vista humana y su obra «Handbook of Physiological Optics» todavía se



considera como el tratado actual más importante sobre la física y la fisiología de la vista humana.

- El movimiento conductista, liderado por John Watson (1878-1914) rechazó teorías en las que intervinieran procesos mentales, argumentando que la introspección no aportaba una evidencia fiable. Los conductistas insistieron en el estudio exclusivo de mediciones objetivas de percepciones sobre animales y de las acciones resultantes. Construcciones mentales como conocimientos y pasos de un razonamiento quedaron descartadas por ser consideradas psicología popular no científica. El conductismo hizo muchos descubrimientos utilizando ratas y palomas, pero tuvo menos éxito en la comprensión de los seres humanos. Aun así, su influencia en la psicología fue notable desde 1920 hasta 1960.
- La conceptualización del cerebro como un dispositivo de procesamiento de información, característica principal de la psicología cognitiva, se remonta por lo menos a las obras de Williams James (1842-1910). Helmholtz también pone énfasis en que la percepción entraña cierto tipo de interferencia lógica inconsistente. Este punto de vista cognitivo se vio eclipsado por el conductismo en los Estados Unidos.
- La obra *The Nature of Explanation*, de Kenneth Craik (1943), reestablece energéticamente la legitimidad de términos mentales como creencias y objetivos. Este establece que hay tres elementos claves para diseñar un agente basado en conocimiento: 1. El estímulo deberá ser traducido a una representación interna. 2. En esta representación se debe manipular mediante procesos cognitivos para así generar nuevas representaciones internas y 3. estas a su vez, se traducirán de nuevo en acciones.
- Donald Broadbent y su libro «*Perception and Communication*» (1958) incluyó algunos de los primeros modelos de procesamiento de información del fenómeno psicológico. En Estados Unidos el desarrollo



del modelo computacional llevo a la creación del campo de la **ciencia cognitiva**. Se puede decir que este campo comenzó en un simposio de celebrado en el MIT, en septiembre de 1956, este evento tuvo lugar solo dos meses después de la conferencia en la que nació la IA. En este simposio Geoge Miller presentó «The Magic Number Seven». Noam Chomsky presento «Three Models of Language», y Allen Newlel y Herbert Simon presentaron «The Logic Theory Machine». Estos tres artículos influyentes mostraron como se podían utilizar los modelos informáticos para modelar la psicología de la memoria, el lenguaje y el pensamiento lógico.

- La Psicología científica se aplicó inicialmente al estudio de la vista humana.
- A principios del siglo XX se dio el movimiento conductista: insistían en el uso exclusivo de mediciones de estímulos y respuestas.
- Psicología cognitiva: elementos a tener en cuenta para diseñar un agente basado en conocimiento:
 1. El estímulo debe ser traducido a una representación interna.
 2. Esta se debe manipular mediante procesos cognitivos y generar nuevas representaciones...
 3. ...Que, a su vez, se traducen en acciones.
- Ciencia cognitiva: modelo computacional. Nacimiento del término Inteligencia Artificial (1956).
- Ingeniería Computacional (desde el año 1940)
 - Para que la IA sea una realidad es necesario: (1) Inteligencia y (2) Un artefacto: ⇒ Computador/Ordenador.
 - El computador electrónico digital moderno se inventó casi simultáneamente por científicos en tres países (II G.M.)



- Desde 1940 gran evolución en computación: máquinas, lenguajes de programación, hardware,...
 - La investigación en IA ha generado numerosas ideas novedosas de las que se han beneficiado la información en general. Ejemplos: tiempo compartido, los intérpretes imperativos, los computadores personales con interfaces gráficas y ratones, entornos de desarrollo rápido, listas enlazadas, administración automática de memoria,... También conceptos claves de la programación simbólica, funcional, dinámica y orientada a objetos.
- Teoría de Control y Cibernética (desde el año 1948 hasta el presente)
 - Artefactos que operan bajo su propio control:
 - ✓ Reloj de agua por Ktesibios de Alejandría (250 a.C.), mostrado en la figura 4, fue la primera máquina auto controlada. Tenía un regulador que mantenía un flujo constante y predecible.
 - ✓ Motor de vapor por James Watt (1736-1819), mostrado en la figura 5.
 - La teoría matemática de los sistemas con retroalimentación se desarrolla en el siglo XIX. Su objetivo es el diseño de sistemas que maximizan una función objetivo.
 - La teoría de control fue desarrollada centralmente por Norbert Wiener (1894-1964). La teoría de control moderna es la rama conocida como **control óptimo estocástico**.
 - Wiener trabajó en sistemas de control biológicos y mecánicos y en sus vínculos con la cognición.
- Lingüística (desde el año 1957 hasta el presente)
 - B. F. Skinner en 1957 publica *Verbal Behavior*.



- ✓ Una obra con visión extensa y detallada desde el enfoque conductista al aprendizaje del lenguaje.
- ✓ La Teoría de Chomsky basada en modelos sintácticos de la lingüística de Panini (350 a.C.) suficientemente formal para permitir programación.
- La lingüística moderna y la IA nacen al mismo tiempo en un campo llamado **lingüística computacional**.



2. HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina joven, es un conjunto de ciencias, teorías y técnicas (que incluyen lógica matemática, estadística, probabilidades, neurobiología computacional, informática) que tiene como objetivo imitar las habilidades cognitivas de un ser humano.

2.1. Prehistoria de la Inteligencia Artificial y sus etapas

En esta sección se presentan, de manera sucinta, todas las etapas de la evolución de la Inteligencia Artificial empezando desde la prehistoria hasta nuestros días.

Evolución histórica: Prehistoria

- **Autómatas**
 - **Grecia (época alejandrina):**
 - Herón: actores artificiales que representaban la Guerra de Troya.
 - Mitología: Dios Talos, robot hijo de Dédalo que defendía Creta.
 - **Edad Media:**
 - Mayordomo de San Alberto Magno.
 - León de Leonardo DaVinci.
 - “Ars Magna” de Ramón Llull (1232 - 1315): Intento de mecanización del razonamiento.
- **Máquinas automáticas**
 - **1642** - Pascal construye una máquina sumadora.
 - **1694** - Leibniz: Sistema binario.
 - **1848** - George Boole (The Calculus of Logic): Pretendía un álgebra para representar el conocimiento.

Influencia de la cibernética (1940 a 1960)



- **1943** - Warren McCulloch y Walter Pitts desarrollan el primer modelo matemático e informático de una neurona biológica.
- **1950** - John Von Neumann y Alan Turing formalizan la arquitectura de las computadoras y demuestran que esta es una máquina capaz de ejecutar lo que está programado.
- **1956** - Fundamentos para la resolución de problemas y el lenguaje de programación IPL, permiten el desarrollo del programa LTM (máquina teórica lógica), cuyo fin es demostrar teoremas matemáticos.

Sistemas expertos (1980 a 1990)

- **1970** - La llegada de los primeros microprocesadores impulsa el desarrollo de la IA, lo cual da origen a la edad de oro de los sistemas expertos.
- **1972** - La Universidad de Stanford desarrolla MYCIN, un sistema con fines de diagnósticos médicos y prescripción de medicamentos. Su funcionamiento era análogo al del razonamiento lógico de un humano.
- **Finales de 1980** - Decae el interés por estos tipos de sistema debido a la complejidad de su programación, el conocimiento requería de numerosas reglas.
- **1997** - IBM desarrolla el exitoso sistema experto Deep Blue gana una partida de ajedrez contra uno de los más grandes jugadores de ajedrez, Garry Kasparov.

Enfoque en datos masivos y nueva potencia de cálculo (desde 2010)

- **2010** - El acceso a volúmenes masivos de datos y el descubrimiento de la gran eficiencia de las tarjetas gráficas para acelerar el cálculo de algoritmos de aprendizaje, fueron los factores principales que le dieron auge a la IA.
- **2011** - Watson, IA desarrollada por IBM, vence a dos campeones del



juego Jeopardy!.

- **2012** - Google X desarrolla una IA para el reconocimiento de gatos en un video. A pesar de los numerosos procesadores que se utilizaron, se confirma que una máquina aprende a distinguir.
- **2016** - AlphaGO, una IA especializada en juegos de Go, vence a dos campeones y luego a sí misma (AlphaGO Zero).

2.2. Prueba de Turing

Es una prueba propuesta por el matemático inglés Alan M. Turing en 1950. Turing propuso que se puede decir que una computadora posee inteligencia artificial si puede imitar las respuestas humanas en condiciones específicas. La prueba de Turing original requiere tres terminales, cada una de las cuales está físicamente separada de las otras dos. Una terminal es operada por una computadora, mientras que las otras dos son operadas por humanos.

La prueba de Turing sugiere utilizar a un interrogador humano remoto, dentro de un marco de tiempo fijo, el cual debe distinguir entre una computadora y un sujeto humano en función de sus respuestas a varias preguntas planteadas por el interrogador. Mediante una serie de pruebas de este tipo, el éxito de una computadora se puede medir por su probabilidad de ser identificado erróneamente como sujeto humano.

En 1981, el filósofo estadounidense John Searle propuso el argumento de la "sala china", una poderosa réplica a la idea de que la prueba de Turing puede mostrar que una máquina podría pensar. Supongamos que un humano que no sabe chino está encerrado en una habitación con un gran conjunto de caracteres chinos y un manual que muestra cómo hacer coincidir las preguntas en chino con las respuestas apropiadas del conjunto de caracteres chinos. La sala tiene una ranura a través de



la cual los hablantes de chino pueden insertar preguntas en chino y otra ranura a través de la cual el humano puede sacar las respuestas apropiadas del manual. Para los hablantes chinos, la sala ha pasado la prueba de Turing. Sin embargo, dado que el humano no sabe chino y solo está siguiendo el manual, no está ocurriendo ningún pensamiento real.

2.3. La Conferencia de Dartmouth

En 1956, en Dartmouth College, New Hampshire, Estados Unidos; John McCarthy propuso el desarrollo de un taller de dos meses, con un mes para una lluvia de ideas con personas con talento, experiencia e interés en la inteligencia artificial. Junto con otros organizadores como Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon, realizaron este taller con el objetivo de aumentar el interés de los investigadores americanos en la teoría de autómatas, las redes neuronales y el estudio de la inteligencia. Se propuso demostrar que todos los aspectos de aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia pueden ser descritas utilizando una máquina hecha para simular tal fin.

Entre los participantes del taller estaban Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Trenchard More, Arthur, Herbert Simon y Allen Newell. Se destaca la participación de Newell y Simon, quienes desarrollaron el Teórico Lógico, considerado por muchos como el primer programa de IA. Este representa a cada problema como un modelo de árbol e intenta resolver mediante la selección de una rama que, probablemente resultaría en la conclusión correcta.

La conferencia de Dartmouth permitió darle un nuevo nombre a este campo: Inteligencia Artificial; así como sentar las bases para futuras investigaciones.



2.3.1. Participantes y sus aportes

John McCarthy

- Considerado el padre de la inteligencia artificial.
- Profesor asistente de matemáticas en Dartmouth y quien propuso la Conferencia de Dartmouth.
- Inventó el lenguaje LISP, el cual es la clave para la resolución de problemas centrales en IA.
- Junto con Minsky, crearon en 1958 el primer laboratorio de habilitación artificial del mundo y propusieron por primera vez el concepto de sistema de tiempo compartido.
- Crea en 1962 el Laboratorio de Inteligencia Artificial en la Universidad de Stanford e inicia el desarrollo del sistema de tiempo compartido basado en el DECPDP-1.

Marvin Minsky

- Fundador de la inteligencia artificial.
- Primer experto en la inteligencia artificial en ganar el Premio Turing.
- Funda el marco teórico de la IA en 1957, para expresar el conocimiento en la forma de un framework, de modo que pueda usarse para representar el conocimiento de forma completa y precisa.
- Fue el primero en combinar la inteligencia artificial con la robótica. Inventó el primer robot llamado Robot C, que simulaba la actividad humana y promovió las habilidades artificiales a un nuevo nivel.

Claude Shannon

Fundador de la teoría de la información. Propone el concepto de Entropía de la Información, el cual sienta las bases para la tecnología de la información y la comunicación digital.



Allen Newell

Recibe en 1957 el Premio Turing por su importante contribución a la inteligencia artificial: inventó el lenguaje de programación IPL (Information Processing Language).

Herbert Simon

Recibe en 1975 el Premio Turing por su importante contribución a la inteligencia artificial: fue el pionero de la computación mental.

2.4. Inteligencia artificial en las universidades

Muchas instituciones están interesadas en la investigación en IA. Entre las más importantes dentro de esta disciplina están:

- Universidad Carnegie-Mellon
- Instituto Tecnológico Massachusetts
- Universidad de Stanford

Sin embargo, la investigación en IA no está relegada a solo estas tres universidades. Podemos mencionar otras universidades que cuentan con un departamento de informática, imparten cursos y realizan investigaciones en IA. Algunas de ellas ubicadas en los Estados Unidos son:

- Universidad de Rutgers
- Universidad de Pittbull
- Universidad de Yale
- Universidad de California
- Universidad de Pensilvania
- Universidad de Purdue



- Universidad de Rhode Island
- Universidad Ohio State
- Universidad de Illinois
- Universidad de Harvard

La Universidad Carnegie-Mellon cuenta con la reputación de ser el centro de investigación de IA, establecido por los trabajos de Newell y Simon sobre el procesamiento de información. Destacan otros científicos que han estado en esta universidad:

- **Ed Feigenbaum:** Desarrolló trabajos como el Memorizador y Perceptor Elemental (EPAM) y el DENDRAL, programa para análisis de datos de un espectrómetro de masas.
- **Doug Lenat:** Desarrolló AM, programa que formula conceptos matemáticos y teoría de conjuntos, ampliado posteriormente y llamado EURISKO.
- **John McDermott:** Desarrolló RI, un sistema experto que ayuda a configurar comandos de la computadora.
- **Raj Reddy:** Desarrolló HEARSAY, un sistema de entendimiento del habla considerado uno de los programas más influyentes en el estudio de IA.

Los trabajos del Instituto Tecnológico de Massachussets están basados en la tradición del estudio de la naturaleza del cerebro y de las máquinas. Después de la fundación del laboratorio de IA por Marvin Minsky, se han hecho numerosas investigaciones. Entre los principales investigadores están:

- **Daniel Bobrow:** Desarrolló un programa de lenguaje natural llamado STUDENT, que lee problemas algebraicos, los transforma en ecuaciones y los resuelve. Fue editor de la revista Inteligencia Artificial.
- **Joel Moses:** Ayudó a desarrollar MACYSMA, programa basado en el



conocimiento que ayuda a manipular expresiones algebraicas usando procedimientos heurísticos.

- **Seymour Papert:** Desarrolló un entorno de programación para niños llamado LOGO.
- **Bert Raphael:** Desarrolló un programa llamado SIR, que acumulaba hechos y hacía deducciones, hacer preguntas y resolver ambigüedades. Contribuyó al desarrollo del robot Shakey en el Instituto de Investigación de Stanford.
- **Terry Winograd:** Desarrolló el programa SHRDLU para trabajar en un mundo de bloques de distintos tamaños, formas y colores. Establece diálogos en inglés con relación al entorno y puede manipular los bloques a través de instrucciones.

La Universidad de Stanford ha atraído la atención nacional como centro de investigación de punta en sistemas expertos basados en reglas debido al proyecto de programación heurística. Así mismo, desarrolló un sistema experto llamado MYCIN, creado por Bruce Buchanan y Edward Shortliffe, para trabajar como ayudante médico en diagnóstico de infecciones bacterianas en la sangre. Incorpora trabajos de otros centros de investigación como MACYSMA y DENDRAL.

Entre los proyectos que han realizado relacionados con la IA están: la visión por computadora, programación automática, resolución de problemas y sistemas de planificación.

2.5. Compañías de Inteligencia Artificial

Muchas son las compañías que han realizado y continúan realizando trabajos relacionados con la IA. En esta sección se mencionarán algunas de ellas, sin embargo, se aclara que es una pequeña muestra de la gran cantidad de compañías que se dedican a trabajar en esta área.



- **Deviatan**

Es una de las pocas empresas en México capaces de desarrollar software de alta complejidad tecnológica. Sus trabajos se basan en diferentes áreas como:

- Algoritmos genéticos
- Redes neuronales artificiales
- Razonamiento predictivo
- Búsquedas no-informadas
- Reconocimiento de imágenes
- Aprendizaje automático
- Minería de datos

Deviatan también posee experiencia en la manipulación de diferentes algoritmos aplicados a imágenes digitales para la obtención de información entre ellas:

- Sistemas de reconocimiento facial
- Sistemas de reconocimiento de emociones
- Sistemas de reconocimiento de números (placas de automóviles)

- **Tecnoidea**

Tecnologías para la Innovación y Desarrollo de Aplicaciones surgió en 2007. Tiene como misión el desarrollo de soluciones tecnológicas de vanguardia relacionadas con la inteligencia artificial, comunicaciones avanzadas, transacciones electrónicas y demás sectores tecnológicos.

Tiene productos como: Sistemas de Reconocimiento, Sistema de Control de Afluencia Inteligente (se encarga del conteo bidireccional de personas dirigido a escenarios donde se necesita dar solución a la gestión de afluencia y publicidad audiovisual), Sistema de Video Vigilancia Inteligente, entre otros.



- **Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA)**

La Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA) se creó en 1983 para potenciar y fomentar el desarrollo de la Inteligencia Artificial tanto en el ámbito español como en el Iberoamericano.

Entre los fines de la AEPIA se encuentran la creación y coordinación de grupos de trabajo, el apoyo a la transferencia de tecnología, el apoyo a entidades (universidades, centros de I+D+i, empresas, instituciones, etc.) para facilitar su innovación y aplicación de las técnicas y aplicaciones de la Inteligencia Artificial, proporcionar un soporte y foro de discusión a investigadores y estudiantes en sus actividades relacionadas con la Inteligencia Artificial, desde los aspectos de investigación científica y tecnológica, desarrollo, aplicación y docencia.



MÓDULO II: ESTRATEGIAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

3. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE BÚSQUEDA

Dentro del campo de la Inteligencia Artificial, las técnicas de búsqueda son un tema fundamental. Debido a inherente complejidad de muchos problemas relacionados a la IA, las técnicas de búsqueda permiten representar el conocimiento y utilizar algoritmos para solucionarlos.

3.1 Aspectos generales sobre el diseño de programas de búsquedas

La búsqueda es un proceso que consiste en inspeccionar varias secuencias y escoger una de ellas para lograr un objetivo. Es decir, que se tiene una situación inicial cuya solución es el objetivo que se quiere lograr y se dispone de acciones simples que al ejecutarlas en una secuencia en particular, pueden lograr o no el objetivo.

Muchos de los problemas dentro de la IA se componen de ciertos elementos que son fundamentales para aplicar las técnicas de búsqueda, estos elementos son:

- **Espacio de búsqueda:** El conjunto de estados posibles.
- **Estado:** El resultado posible de un problema.
- **Transición:** La acción de moverse entre estados.
- **Estado inicial:** Estado desde el cual se inicia la búsqueda.
- **Estados intermedios:** Estados entre el estado inicial y el estado final.
- **Estado final:** Estado en el que se detiene la búsqueda. Es la solución del problema.

Los algoritmos de búsqueda tienen las siguientes propiedades:

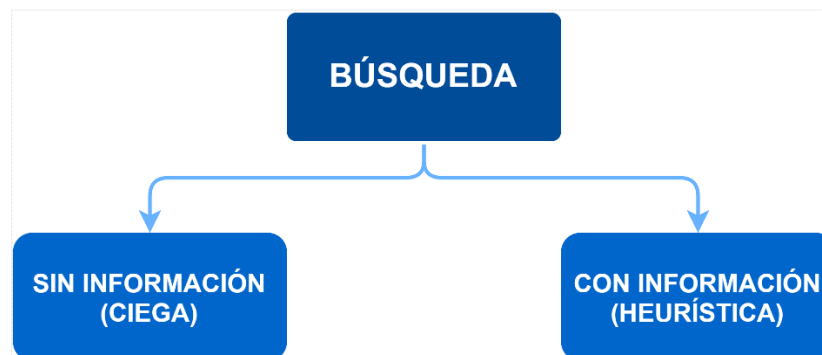
- **Complejidad:** El algoritmo devuelve una solución para cualquier entrada, si al menos una solución existe para esa entrada en particular.



- **Optimalidad:** Si la solución deducida por el algoritmo es a mejor solución.
- **Complejidad en tiempo:** Cuánto le toma al algoritmo completar su tarea.
- **Complejidad en espacio:** Espacio máximo de almacenamiento que el algoritmo requiere durante la búsqueda.

Las técnicas de búsqueda se clasifican en dos grandes grupos, de acuerdo con la cantidad de información disponible para realizar el proceso de búsqueda. La información puede ser sobre el espacio del problema o sólo sobre algunos estados.

En la Ilustración 2 se muestra esta clasificación.



3.2. Búsqueda ciega o sin información

La búsqueda ciega consiste en una exploración sin información en el espacio de estados, es decir, no se tiene información sobre el dominio. Este tipo de búsqueda considera el camino más prometedor en el momento, no el camino óptimo para llegar al objetivo.

3.2.1 Búsqueda primero en anchura

La búsqueda primero en anchura se implementa utilizando a la estructura de datos denominada cola. El algoritmo empieza desde la raíz y atraviesa el árbol nivel por nivel, pasa por todos los nodos de un nivel antes de pasar a los nodos hijos.

Propiedades de este tipo de búsqueda:

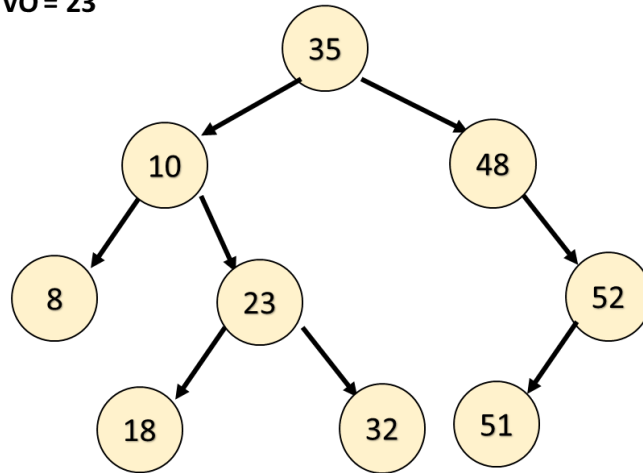
Compleitud: Siempre encuentra una solución, si existe.

- **Optimalidad:** Siempre encuentra el camino más corto, es decir, la solución de menor coste. Es más efectivo cuando todos los caminos hacia el nodo objetivo son de profundidad uniforme.
- **Complejidad en tiempo:** Exponencial. Requiere una considerable cantidad de tiempo para su ejecución.
- **Complejidad en espacio:** Exponencial. Requiere mucho espacio en la memoria.

Ejemplo: Realizar una búsqueda en anchura utilizando el siguiente árbol y los valores dados en el nodo inicial y el nodo objetivo.

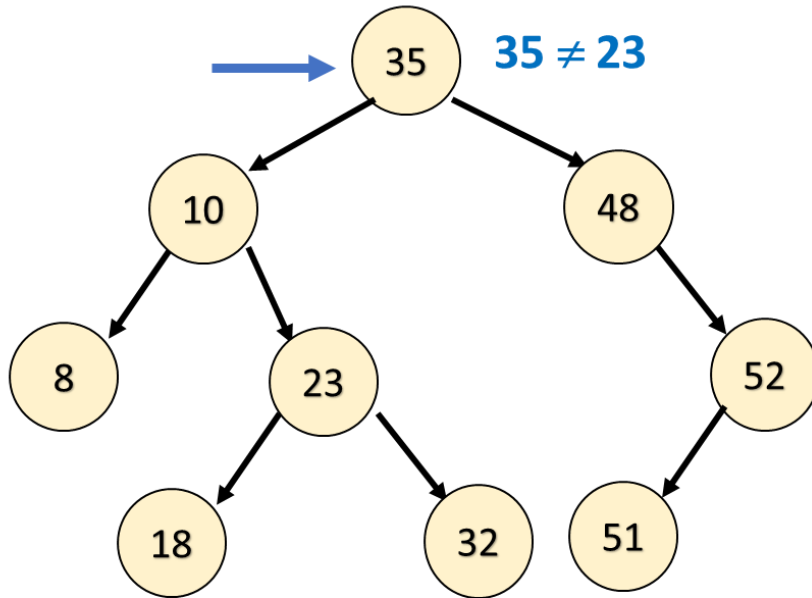


NODO INICIAL = 35
NODO OBJETIVO = 23

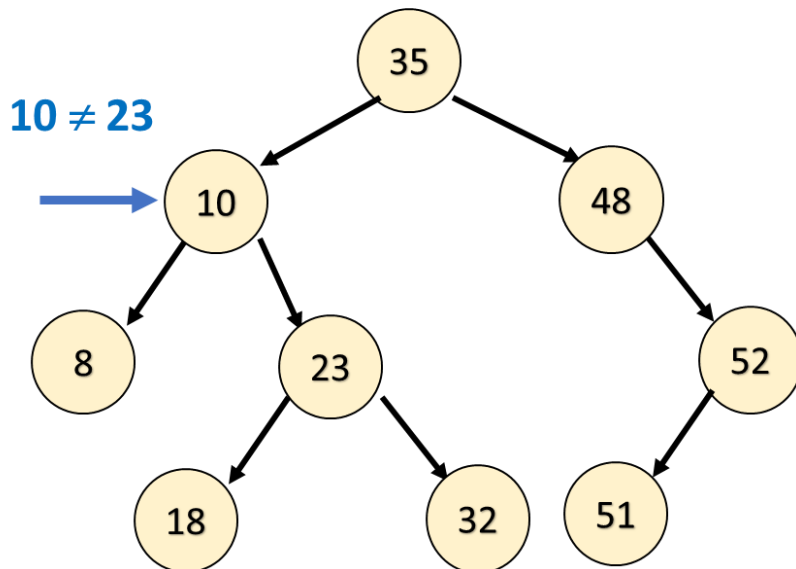


Solución:

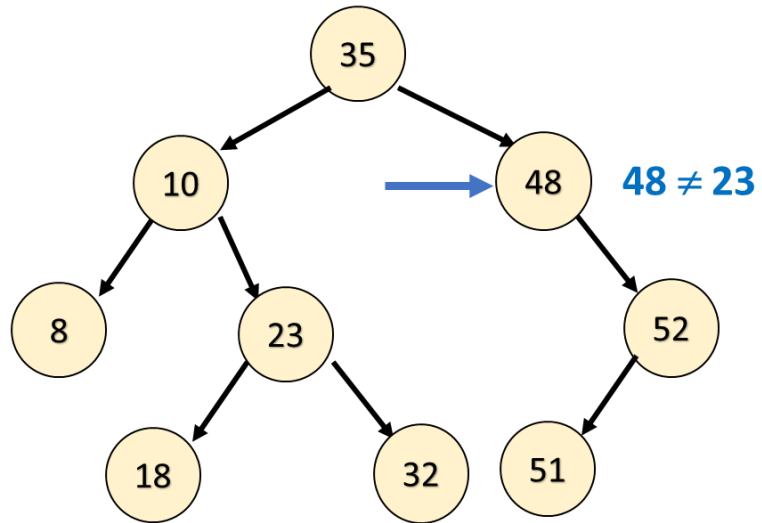
PASO 1



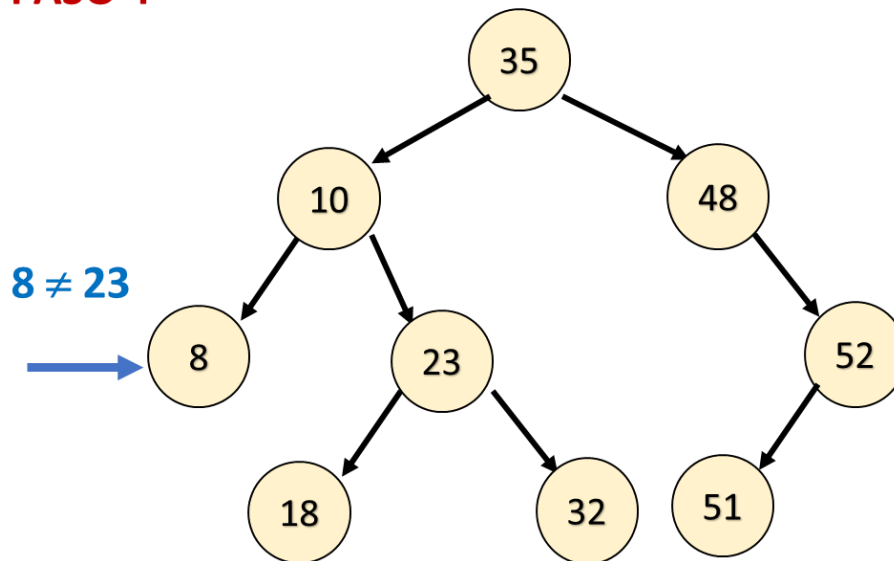
PASO 2



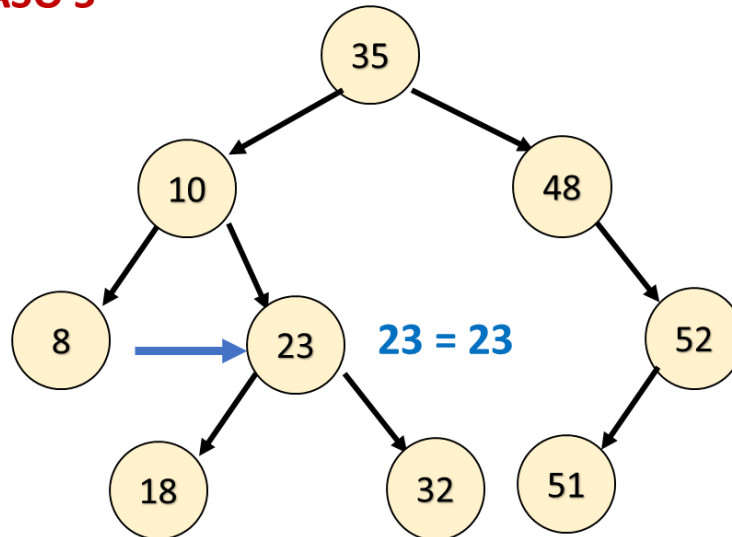
PASO 3



PASO 4



PASO 5



3.2.2. Búsqueda primero en profundidad

La búsqueda primero en profundidad se implementa utilizando a la estructura de datos denominada pila. El algoritmo empieza desde la raíz y explora a todos los nodos de una sola rama del árbol. Si no encuentra una solución o termina la búsqueda por esa rama entonces hace una vuelta hacia atrás (denominado backtracking), elimina los nodos ya visitados en esa rama y sigue por otra rama. Sus principales desventajas son que la búsqueda puede no finalizar si se trata de un árbol infinito y puede presentarse bucles infinitos.

Algunas propiedades de esta búsqueda son:

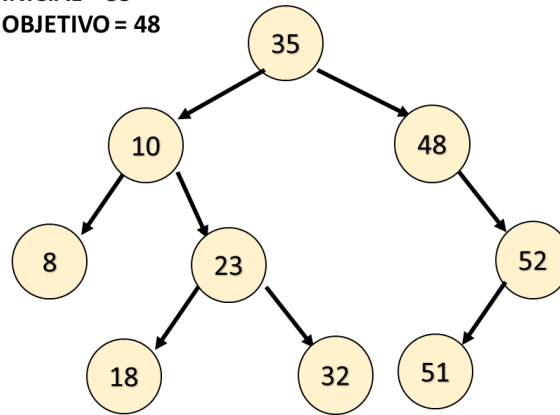
- **Completitud:** Siempre encuentra una solución, si existe y el árbol es finito.
- **Optimalidad:** No garantiza la solución de menor coste.
- **Complejidad en tiempo:** Exponencial. Genera los mismos conjuntos de nodos que en la búsqueda primero por anchura, pero en un orden diferente.



- **Complejidad en espacio:** Lineal. Requiere menos espacio en la memoria porque el algoritmo sólo necesita almacenar una pila con los nodos del camino desde la raíz hasta el nodo actual.

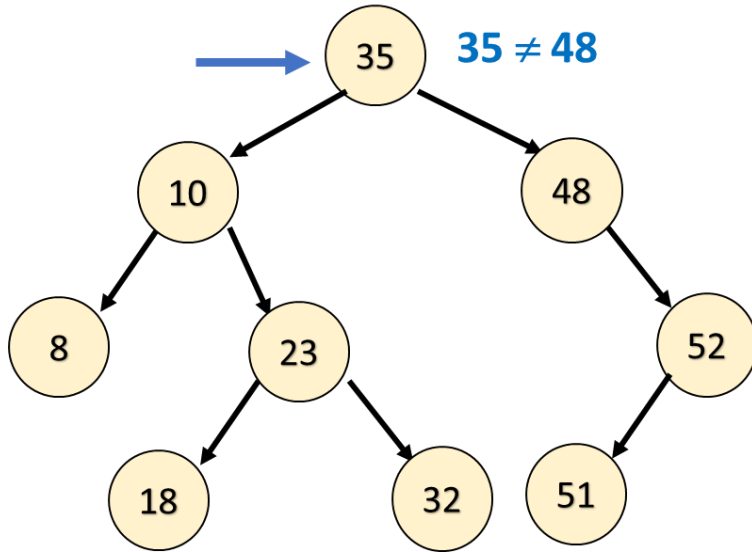
Ejemplo: Realizar una búsqueda en profundidad utilizando el siguiente árbol y los valores dados en el nodo inicial y el nodo objetivo.

NODO INICIAL = 35
NODO OBJETIVO = 48

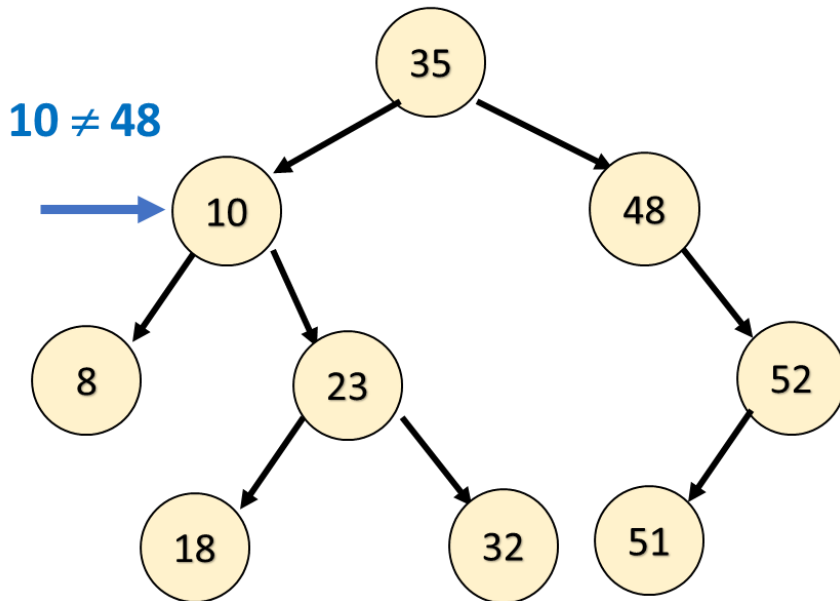


Solución:

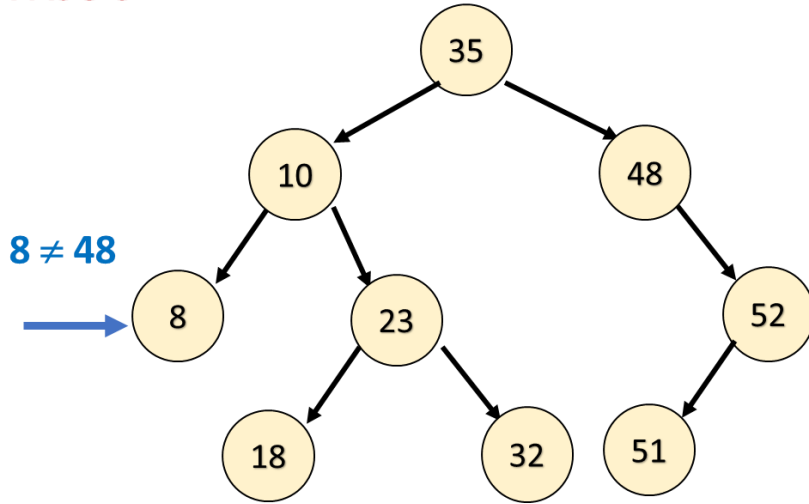
PASO 1



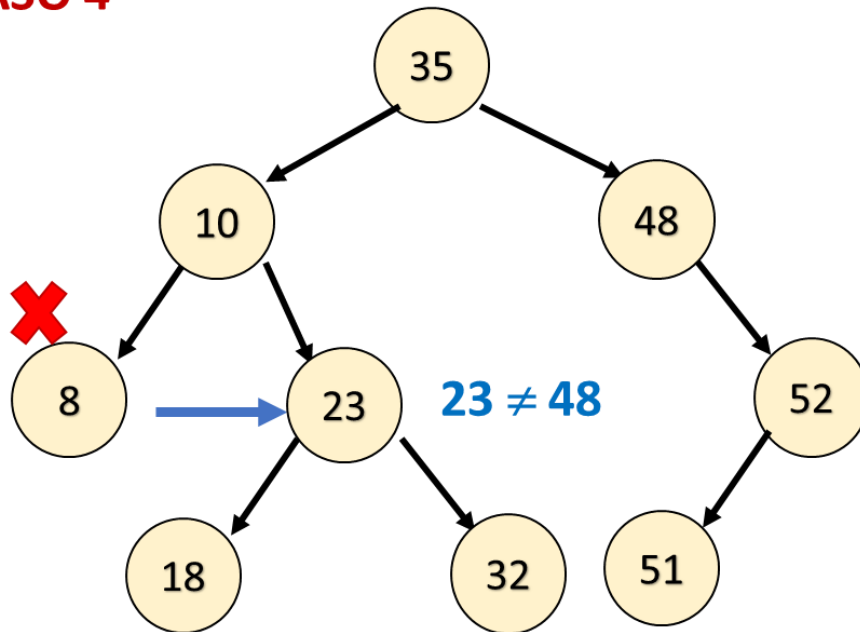
PASO 2



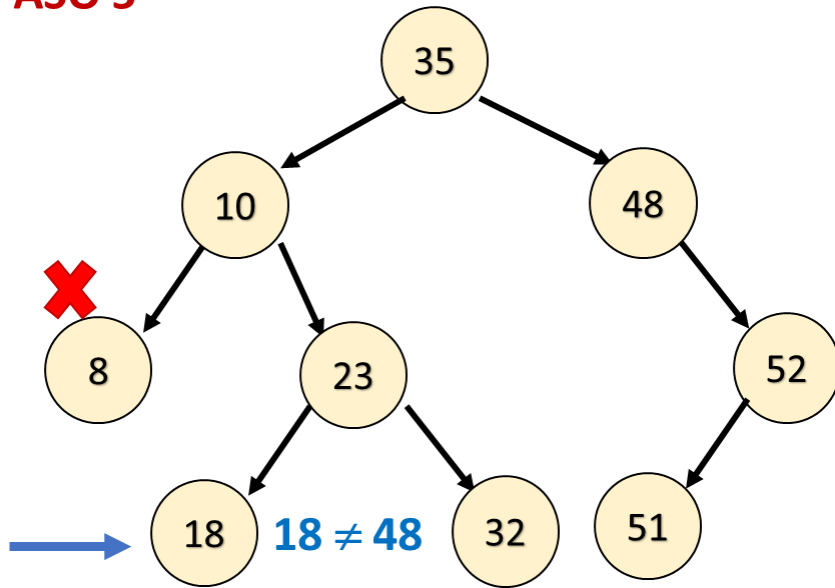
PASO 3



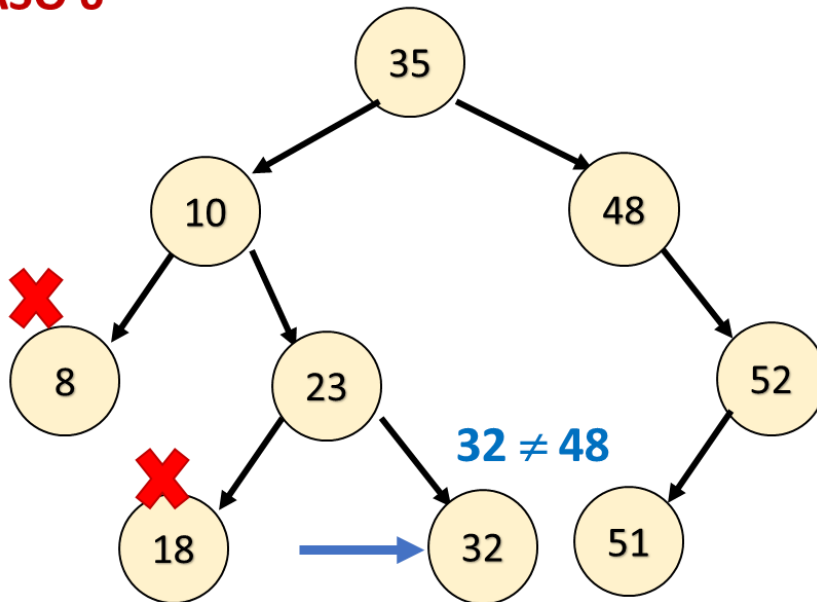
PASO 4



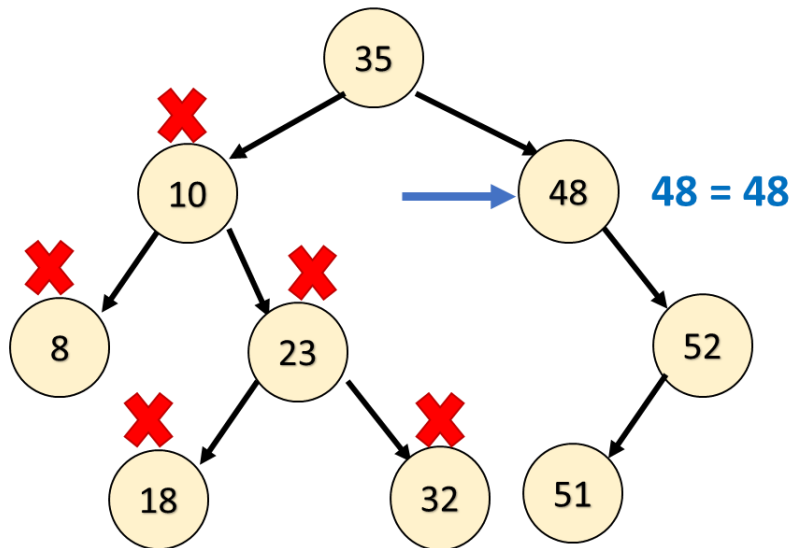
PASO 5



PASO 6



PASO 7



Búsqueda en profundidad iterativa

La búsqueda en profundidad iterativa combina las mejores características de la búsqueda en anchura y la búsqueda en profundidad. En este tipo de búsqueda, el algoritmo funciona de la siguiente manera:

1. Se establece una profundidad predefinida.
2. El árbol se desarrolla realizando la búsqueda en profundidad hasta el límite predefinido en el paso 1.
3. Si encuentra una solución el proceso de búsqueda finaliza. De lo contrario se predefine una nueva profundidad y se repiten los pasos.

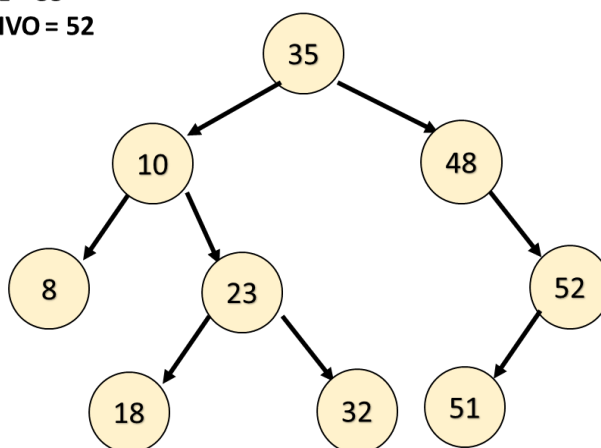
La búsqueda en profundidad iterativa presenta las siguientes características:

- **Complejidad:** Siempre encuentra una solución, si existe, sin importar si el árbol es finito o no.
- **Optimalidad:** Garantiza la solución de menor coste.



Ejemplo: Realizar una búsqueda en profundidad iterativa utilizando el siguiente árbol. El valor a buscar es: 52.

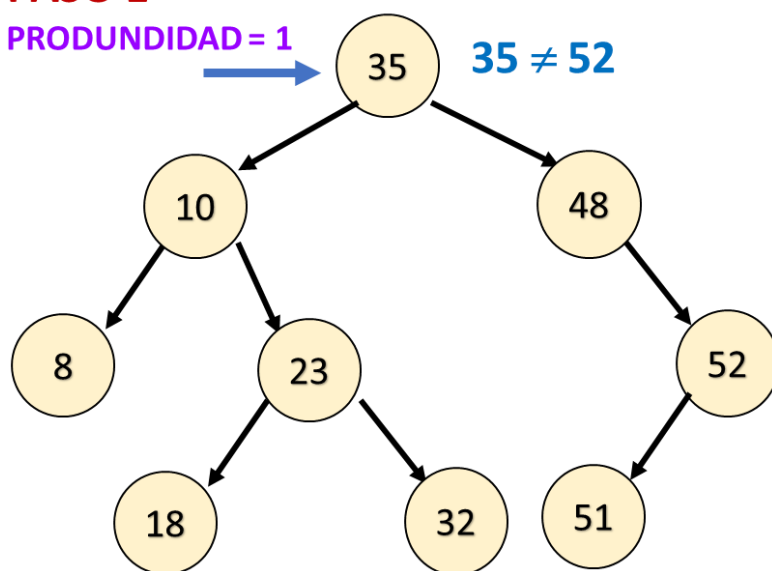
NODO INICIAL = 35
NODO OBJETIVO = 52



Solución

PASO 1

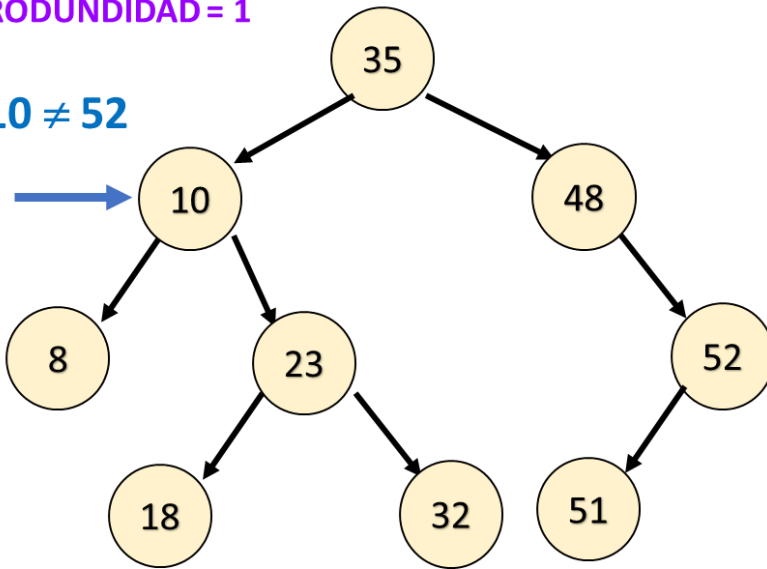
PRODUNDIDAD = 1



PASO 2

PRODUNDIDAD = 1

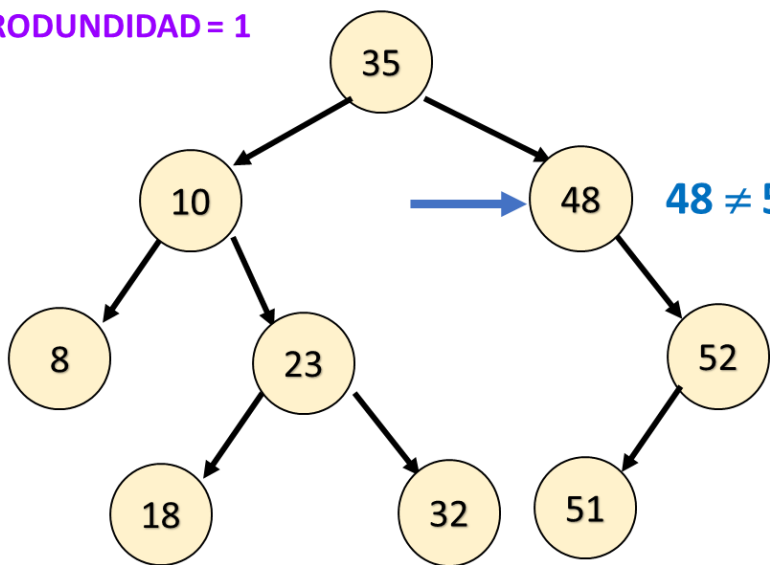
$10 \neq 52$



PASO 3

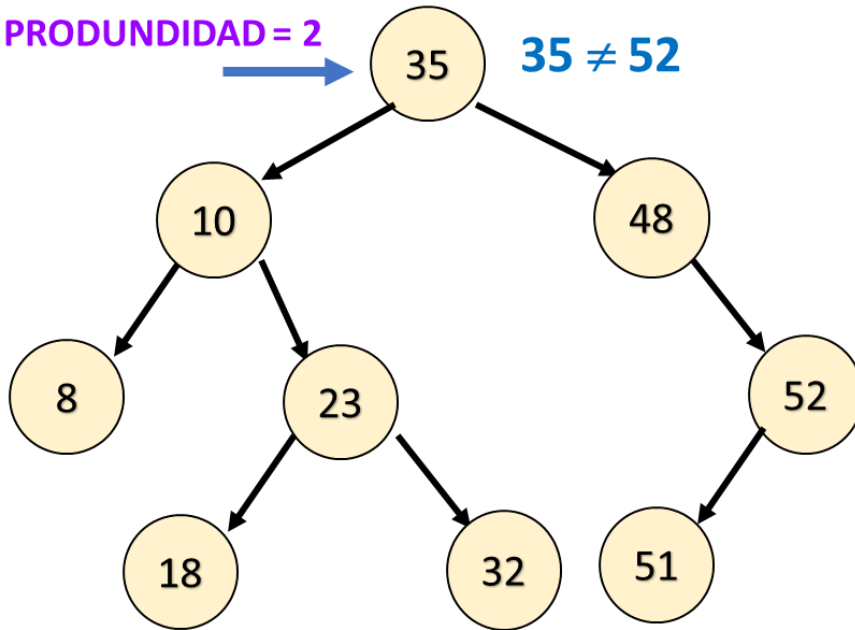
PRODUNDIDAD = 1

$48 \neq 52$



PASO 4

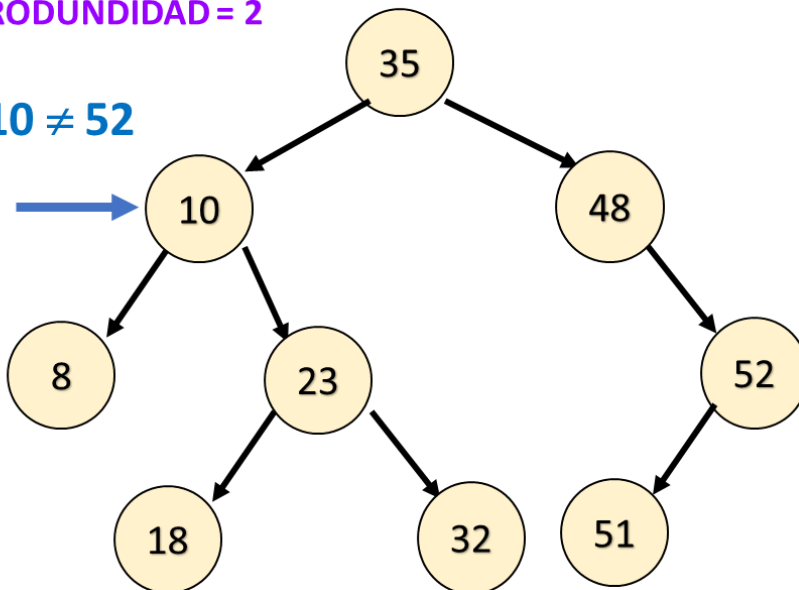
PRODUNDIDAD = 2



PASO 5

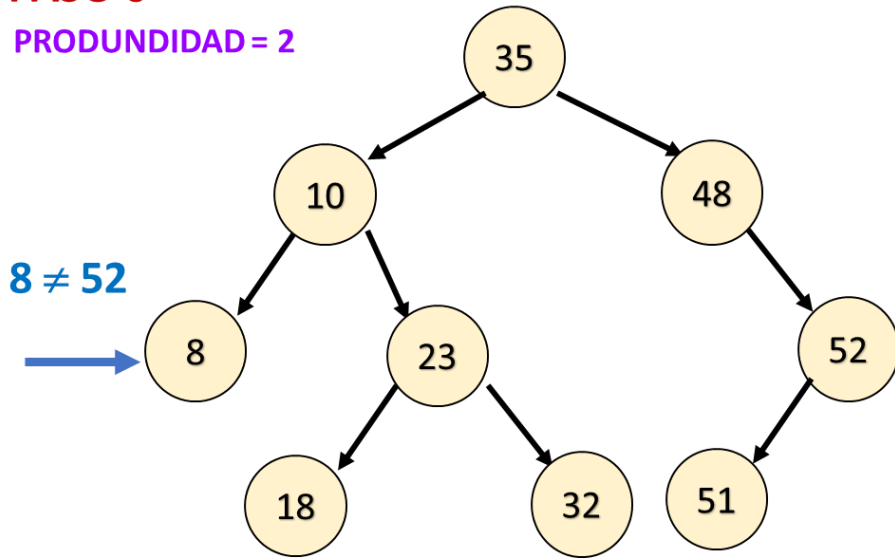
PRODUNDIDAD = 2

10 ≠ 52



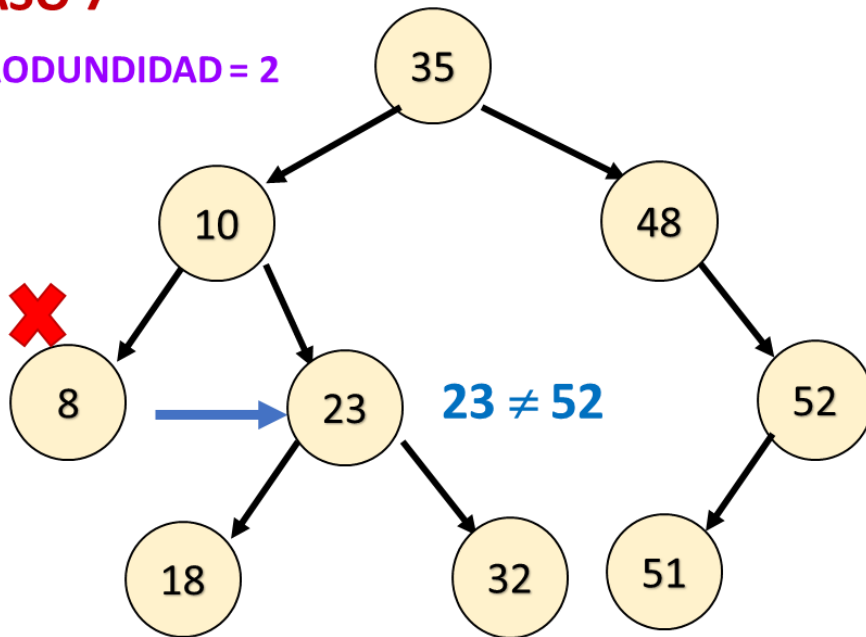
PASO 6

PRODUNDIDAD = 2



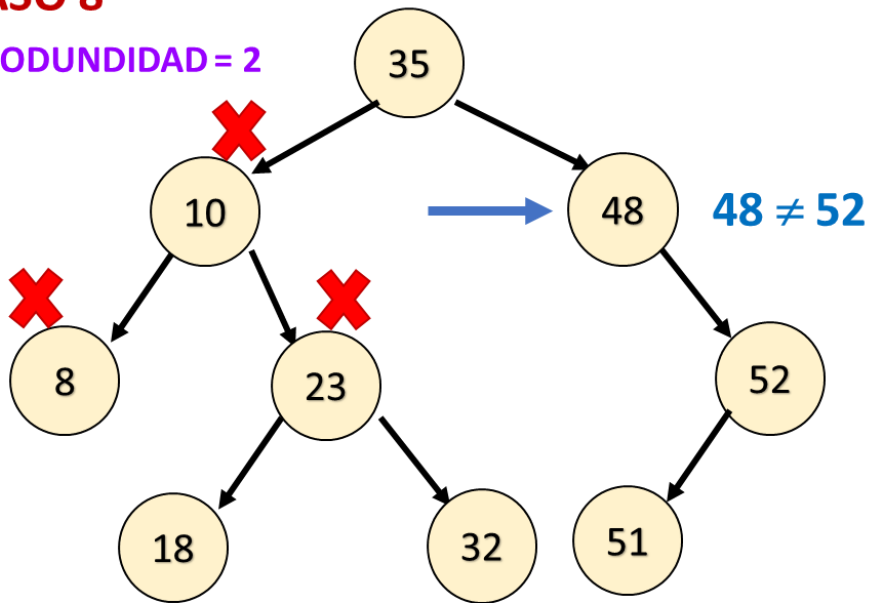
PASO 7

PRODUNDIDAD = 2



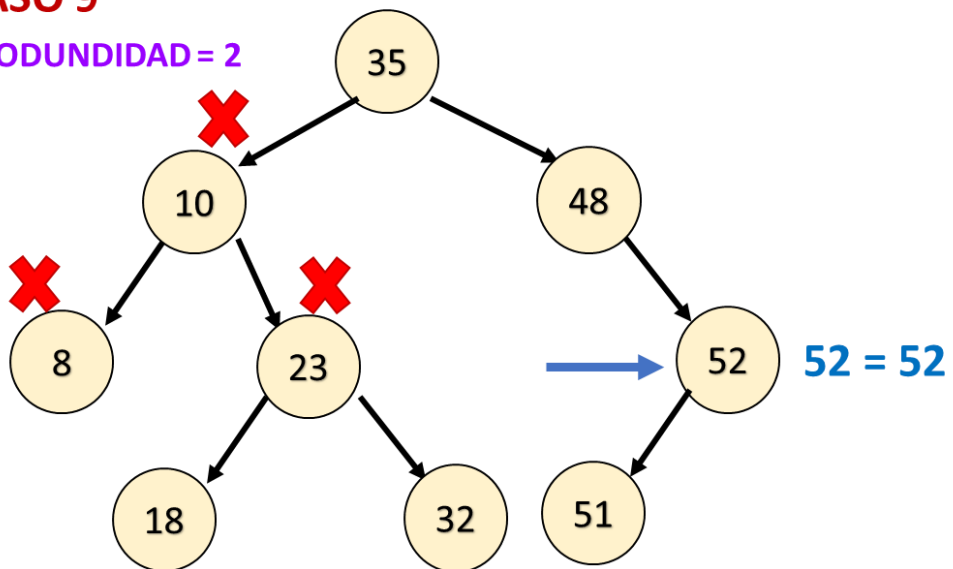
PASO 8

PRODUNDIDAD = 2



PASO 9

PRODUNDIDAD = 2



3.3 Búsqueda heurística

3.3. Búsqueda heurística

En la búsqueda heurística se tiene información sobre el dominio. Utiliza funciones que estiman el coste desde el estado actual hasta el objetivo. A esta función se le denomina función de evaluación heurística, más conocida como función heurística y se denota por $h(n)$. Esta función asocia a cada estado del espacio de estados una cierta cantidad numérica que le permite evaluar, de algún modo, lo prometedor que es ese estado para acceder a un estado objetivo.

Este tipo de búsqueda no siempre da una solución óptima, pero definitivamente da una buena solución en un tiempo razonable porque hay una reducción en el número de nodos que deben ser visitados para llegar al objetivo. Esto convierte a la búsqueda heurística en una técnica apta para la resolución de problemas complejos.

Dado un grafo (correspondiente al problema a solucionar) se debe elaborar el árbol expandido del mismo hasta encontrar la solución del problema propuesto. Para la elaboración del árbol se inicia en el nodo inicial del grafo hasta llegar al nodo objetivo, los valores de estos nodos se indican en cada problema. Luego nos desplazaremos hacia cada uno de los nodos o vértices siguiendo el camino de cada uno de ellos y evitando repetir un mismo nodo en la rama del árbol que se está elaborando ya que esto crearía un ciclo lo cual no nos permitirá terminar en una búsqueda. Para facilitar la elaboración del árbol en los ejemplos, se trabajarán las letras en orden alfabético.



3.3.1. Búsqueda por ascenso de la colina

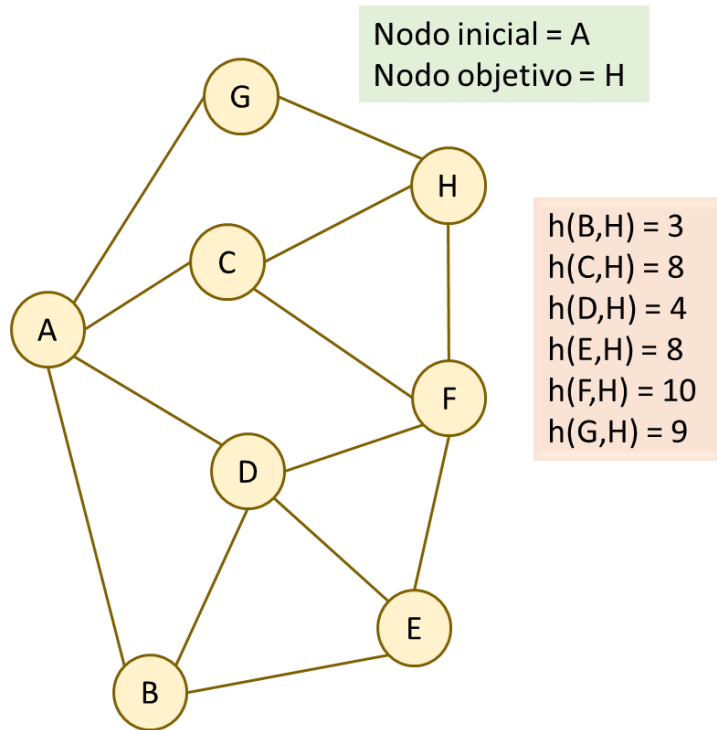
La búsqueda por ascenso de la colina se basa en una función de evaluación que ordena las opciones a medida que los nodos se expanden. La función de evaluación da un valor de la distancia restante estimada para llegar al objetivo y la efectividad de esta técnica depende completamente de su precisión. Es un tipo de algoritmo local, por lo que se utiliza cuando hay más de un estado final posible, pero algunos resultados son mejores que otros y se necesita encontrar el mejor.

Este algoritmo atrapa al mejor estado vecino sin considerar hacia dónde ir después. Consiste en un bucle que se mueve continuamente en la dirección de mayor valor y se detiene cuando encuentra una solución o se atasca. Algunas razones por las que el algoritmo se atasca son:

- **Máximo local:** Es el estado mejor que sus vecinos, pero no mejor que los estados más alejados.
- **Cresta:** Es un tipo de máximo local que no es posible atravesar con movimientos simples.
- **Meseta:** Es cuando todos los estados en el espacio de búsqueda tienen igual valor.

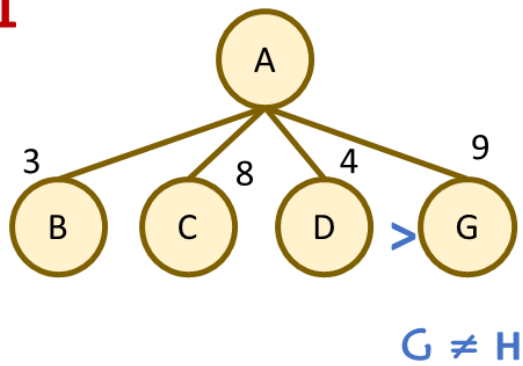
Ejemplo: Realizar una búsqueda por ascenso de la colina utilizando los valores de la función heurística $h(n)$ ubicados en el cuadro. Haga el recorrido de los valores de los nodos siguiendo el orden alfabético.



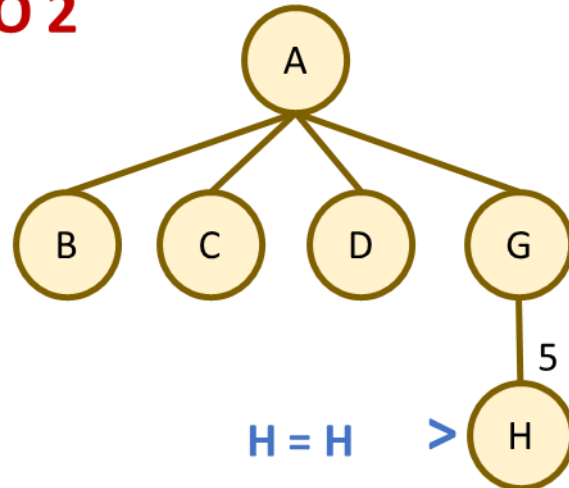


Solución:

PASO 1



PASO 2



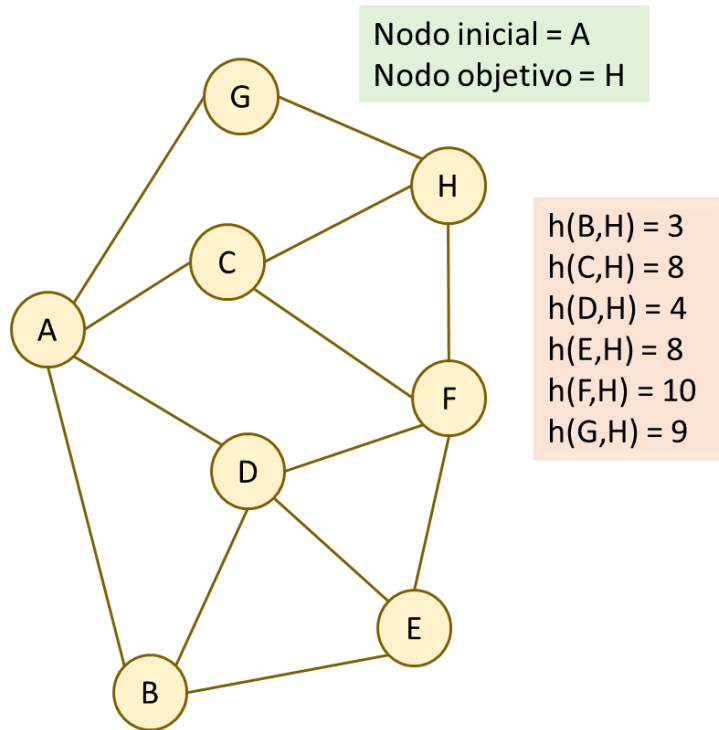
3.3.2. Búsqueda primero el mejor

La búsqueda de primero el mejor consiste en la selección de un nodo para la expansión basado en una función de evaluación. En cada paso, se selecciona para expansión el nodo más prometedor, es decir, aquel de menor coste acumulado en la trayectoria. El componente clave de este tipo de búsqueda es la función heurística $h(n)$, que corresponde a la distancia estimada desde el nodo actual hasta el nodo objetivo:

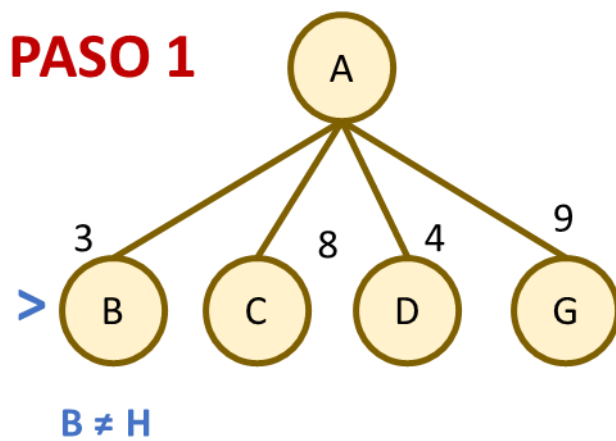
$$h(n) = \text{costo estimado desde el nodo } n \text{ hasta el nodo objetivo}$$

Ejemplo: Realizar una búsqueda de primero el mejor utilizando los valores de la función heurística $h(n)$ ubicados en el cuadro. Haga el recorrido de los valores de los nodos siguiendo el orden alfabético.

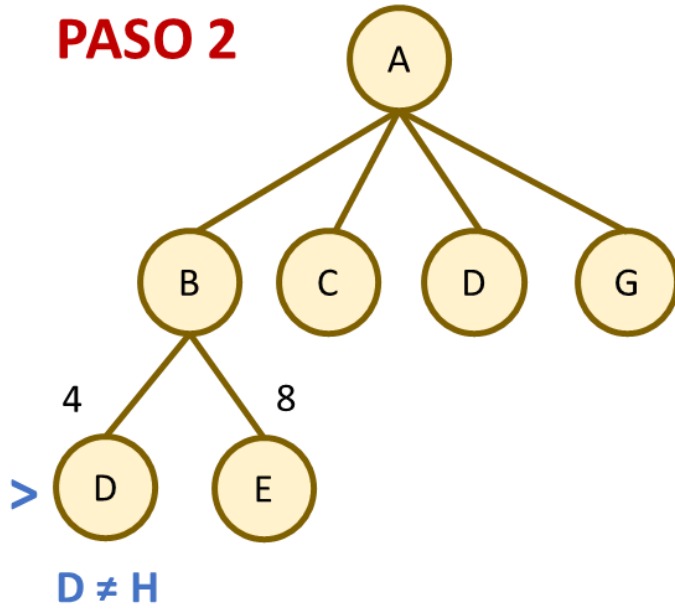




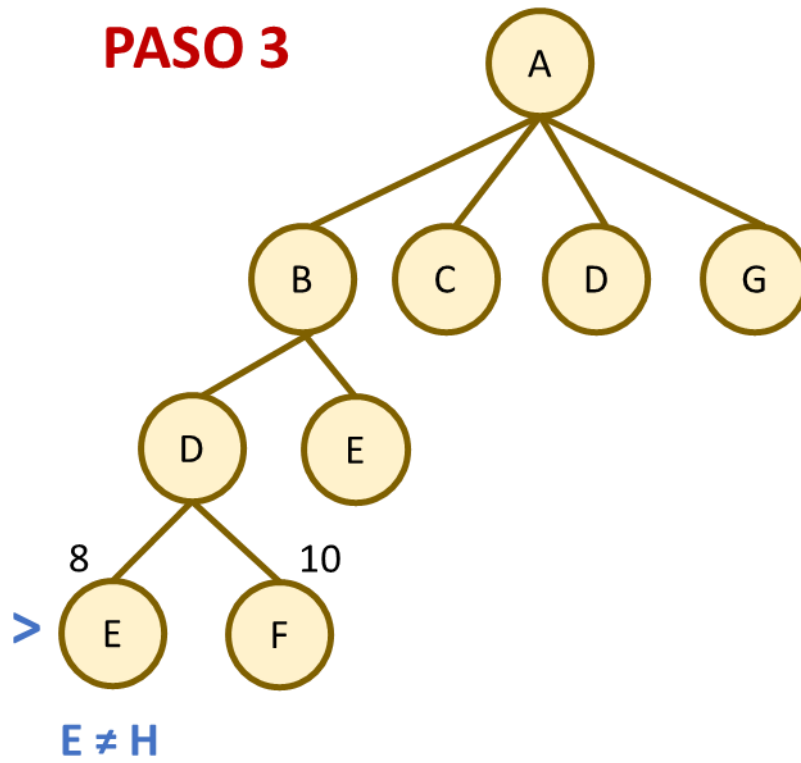
Solución:



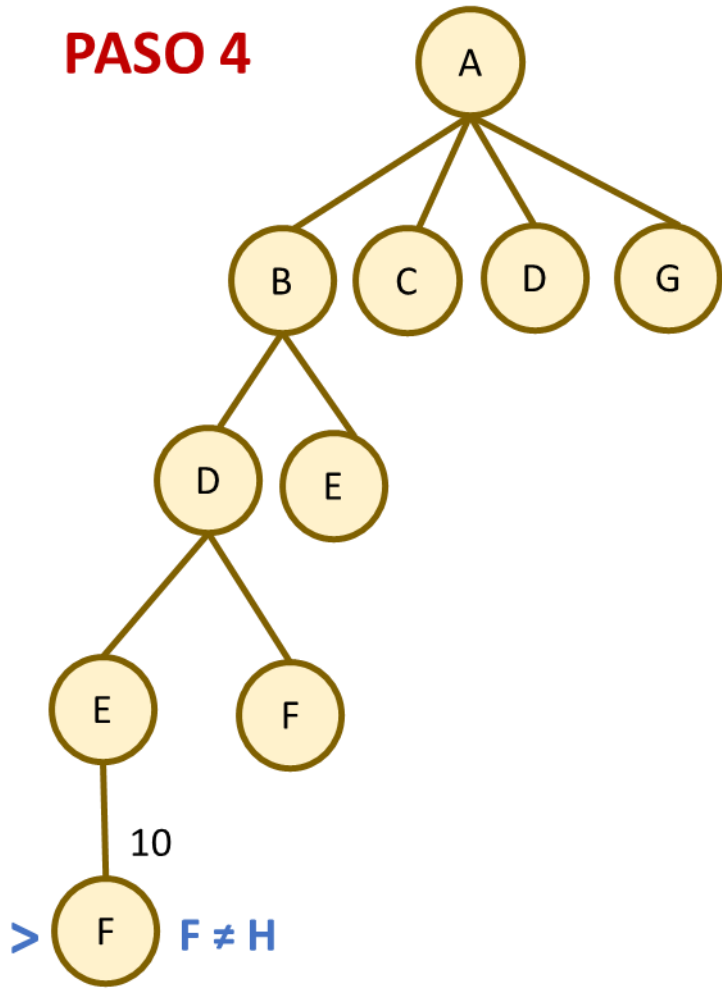
PASO 2



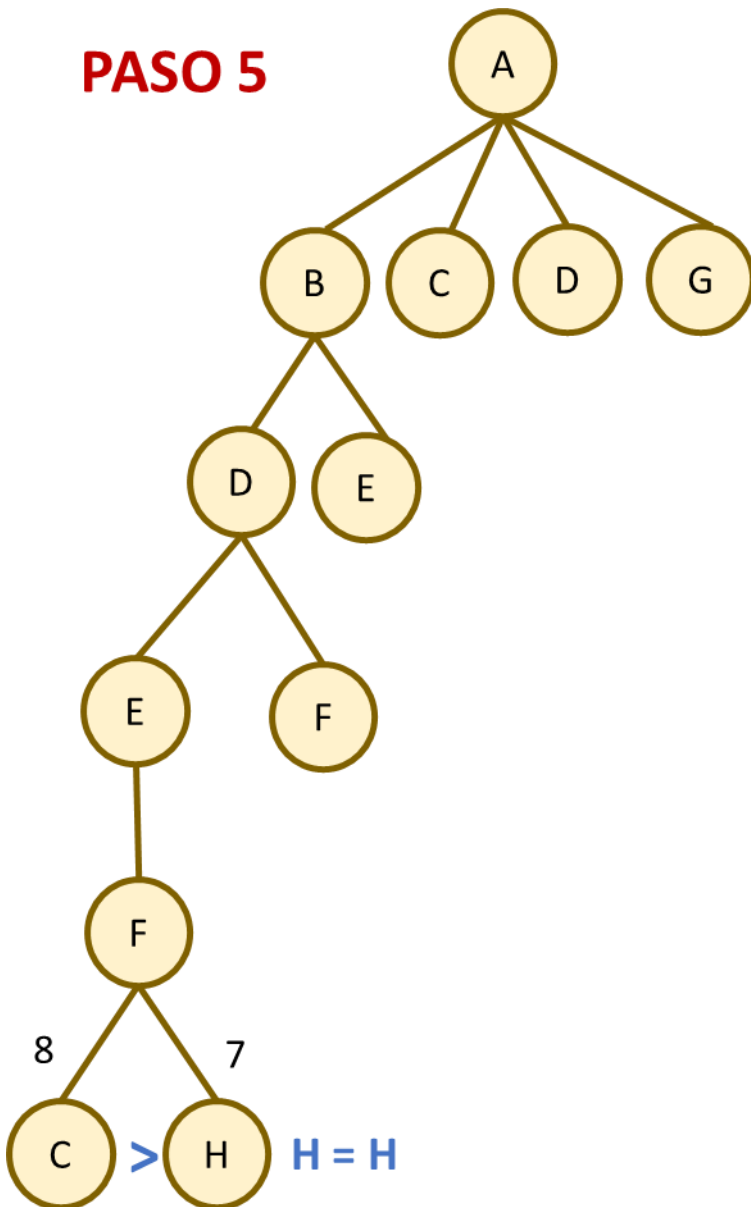
PASO 3



PASO 4



PASO 5



3.3.3. Búsqueda en haz

La búsqueda en haz es una variante de la búsqueda primero en anchura. Se selecciona un “haz” o conjunto, en lugar de descender por todas las ramas. Las ramas se seleccionan en base a criterios heurísticos que corresponden al problema,

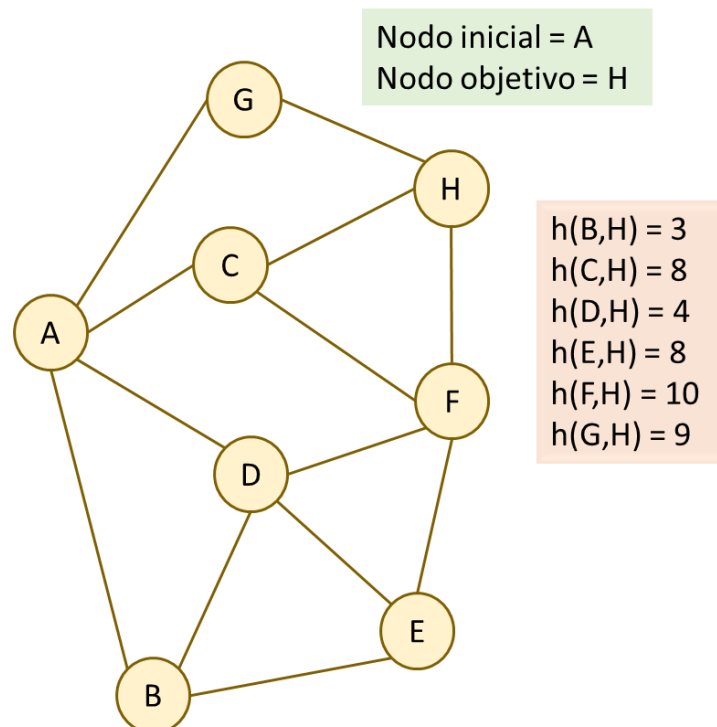


las ramas que no se seleccionan para la búsqueda, son las menos prometedoras y se “podan”.

La poda de las ramas se hace de acuerdo con los siguientes criterios:

- Por umbral en el número de ramas
- Por umbral del trayecto acumulado según cierta función heurística

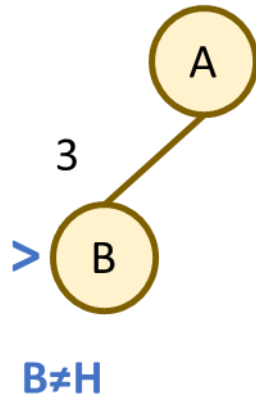
Ejemplo: Realizar una búsqueda en haz utilizando los valores de la función heurística $h(n)$ ubicados en el cuadro. Haga el recorrido de los valores de los nodos siguiendo el orden alfabético.



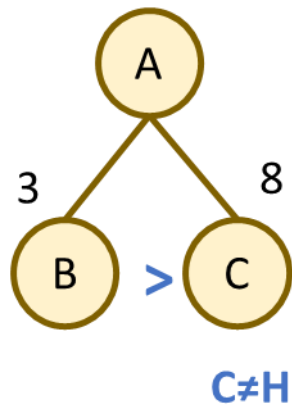
Solución:



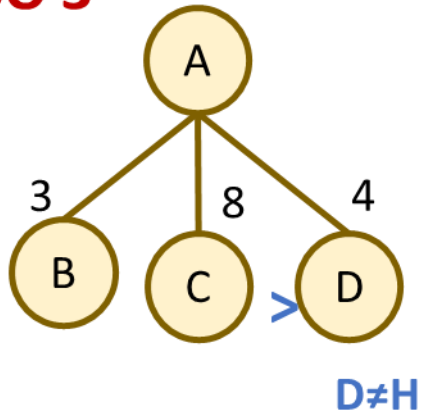
PASO 1



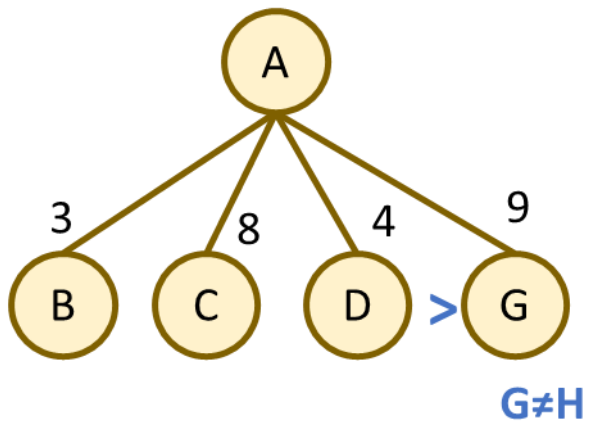
PASO 2



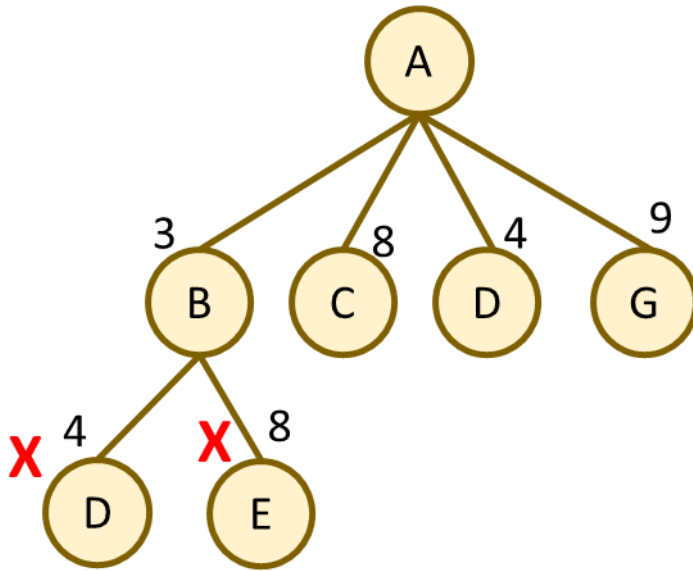
PASO 3



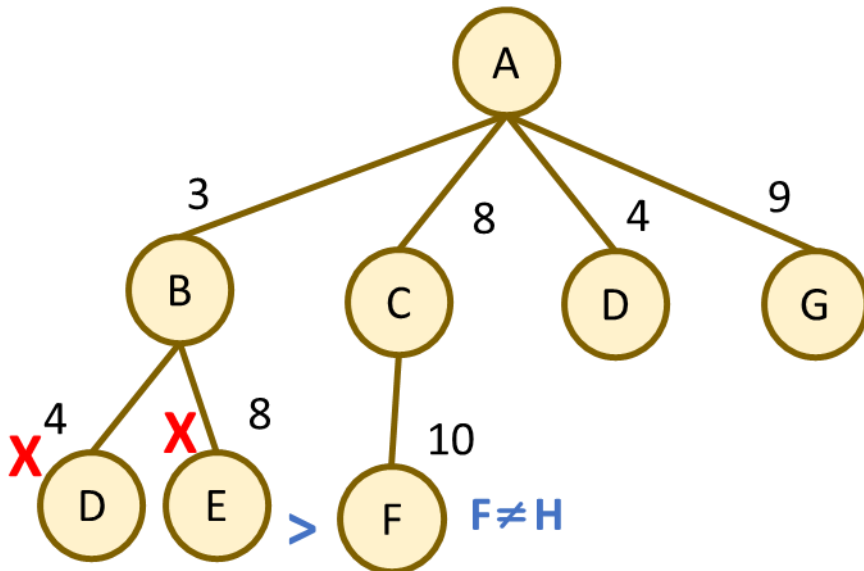
PASO 4



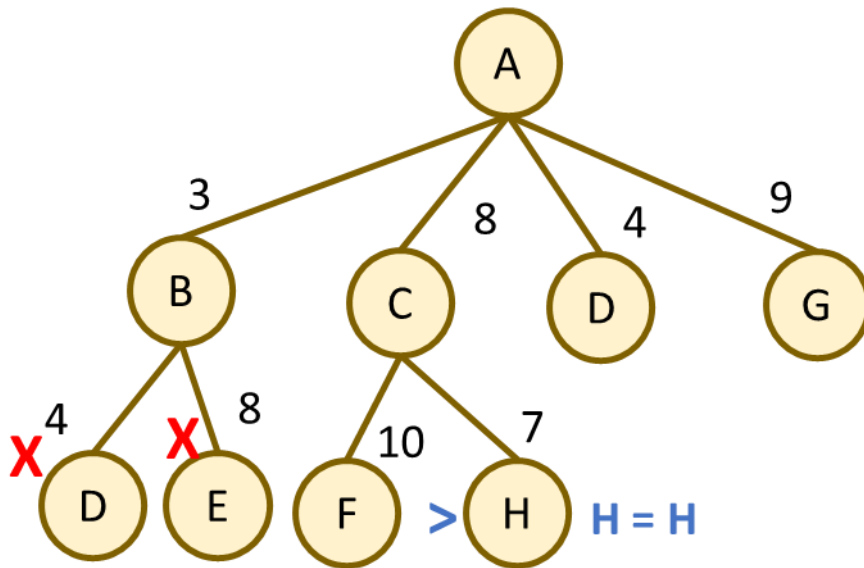
PASO 5



PASO 6



PASO 7



3.3.4. Búsqueda A*

La búsqueda A* es una instancia del conjunto de algoritmos de búsqueda primero el mejor. El algoritmo encuentra el camino más corto a través del espacio de búsqueda utilizando una función heurística, que es la que permite evaluar el costo del camino que pasa a través de cada estado en particular. El algoritmo se completa cuando el factor de ramificación es finito y cada estado tiene un costo fijo.

La función heurística es la siguiente:

$$f'(n) = g'(n) + h'(n)$$

donde:

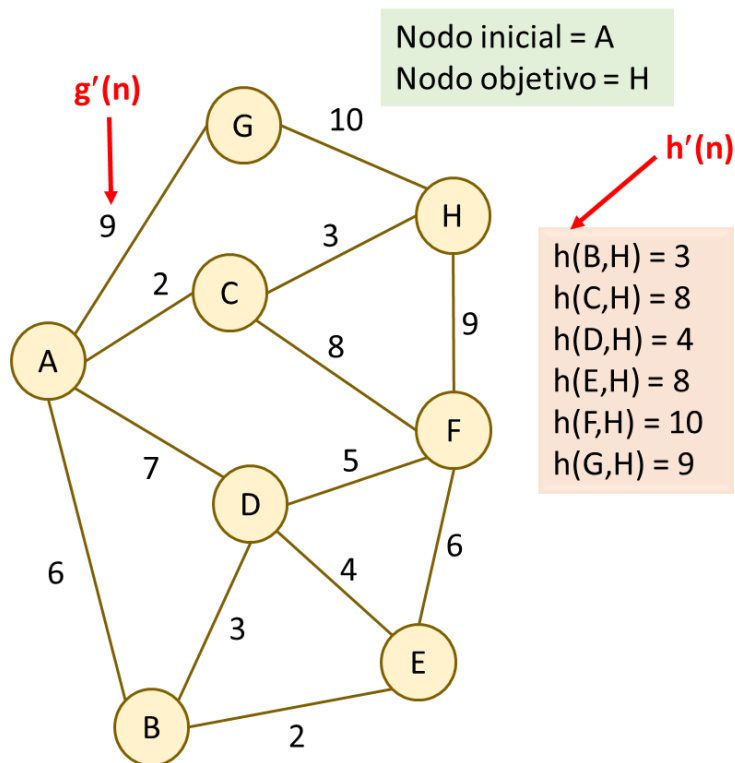
- $f'(n)$ es el valor estimado del coste total



- $g'(n)$ es el coste mínimo del camino desde el estado inicial hasta el nodo actual (n)
- $h'(n)$ es el coste mínimo del camino desde el nodo actual (n) hasta el estado objetivo

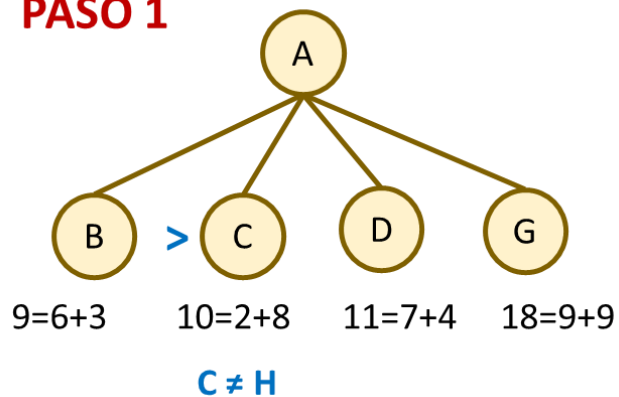
El algoritmo tiene como preferencia al nodo como menor $f'(n)$ y en el caso de que haya empate, la preferencia es con el nodo con menor $h'(n)$.

Ejemplo: Realizar una búsqueda A* utilizando los valores de las funciones $h'(n)$ y $g'(n)$. Haga el recorrido de los valores de los nodos siguiendo el orden alfabético.

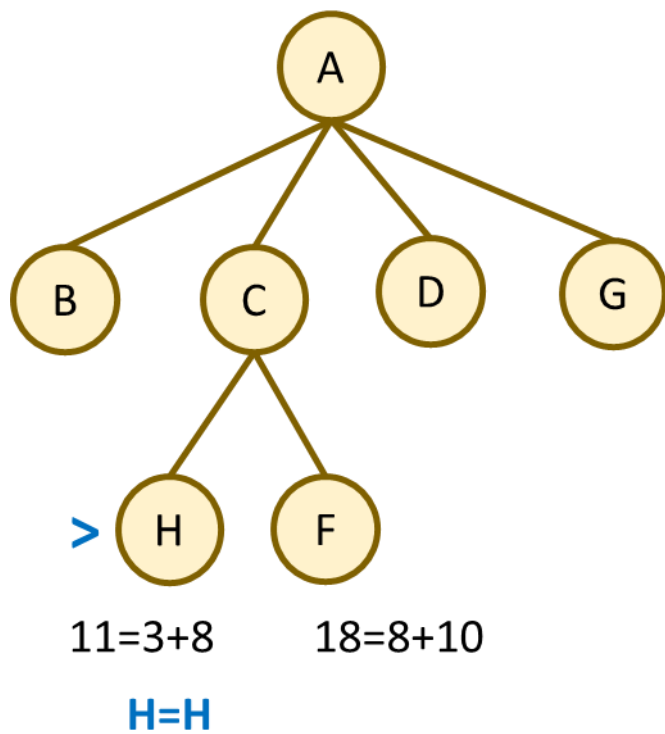


Solución:

PASO 1



PASO 2

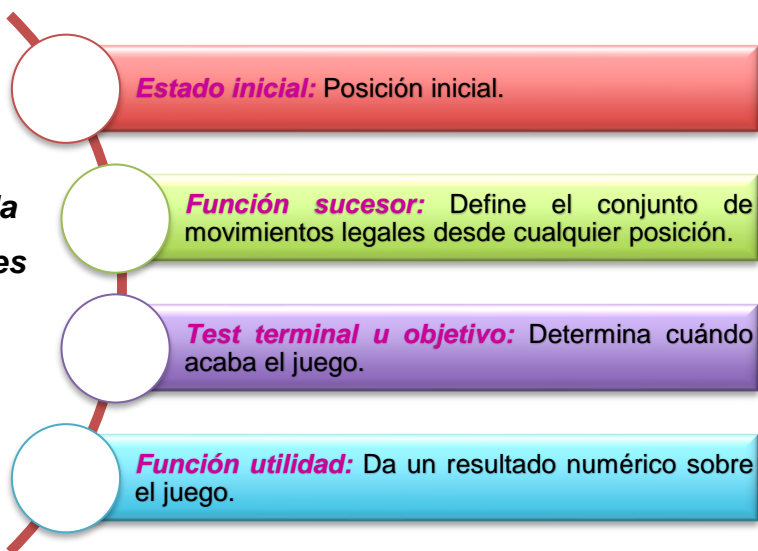


3.4. Búsqueda en problemas de juego

La búsqueda en problemas de juegos es propia de los entornos multiagente competitivos, ya que un agente tiene que considerar las acciones que realizan los otros agentes. A estos entornos competitivos se les denomina búsqueda entre adversarios o juegos. Los juegos que se estudian en la Inteligencia Artificial son una clase más especializada, por ejemplo, suma cero, de dos jugadores por turnos (jugador MAX, jugador MIN), ajedrez, damas, etc. La Ilustración 2 y 3 muestran ejemplos de algunos de estos juegos.

3.4.1. Definición formal de juego

Un juego puede definirse formalmente como una clase de problemas de búsqueda que cuenta con los siguientes componentes:



3.4.2. Procedimiento Minimax

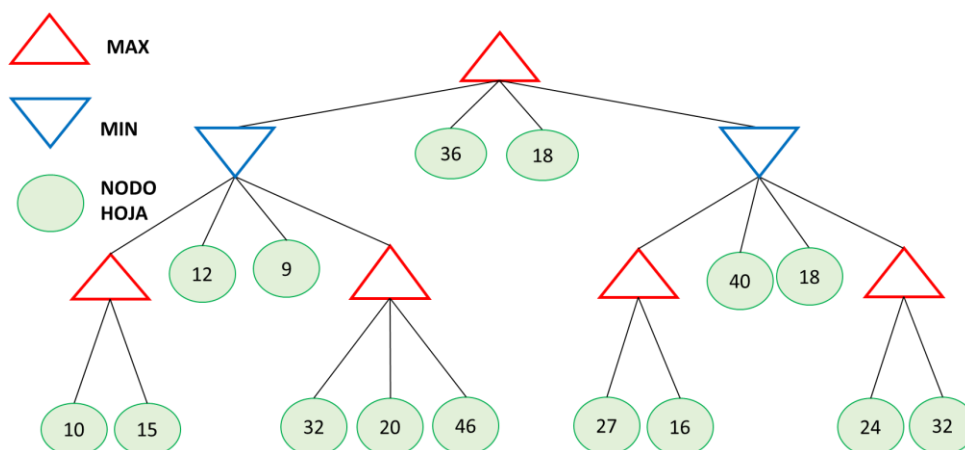
Minimax se utiliza en la toma de decisiones y la teoría de juegos para encontrar el movimiento óptimo para un jugador, suponiendo que su oponente también juegue



de manera óptima. En Minimax, los dos jugadores se llaman maximizador (MAX) y minimizador (MIN). El maximizador intenta obtener el puntaje más alto posible, mientras que el minimizador intenta hacer lo contrario y obtener el puntaje más bajo posible.

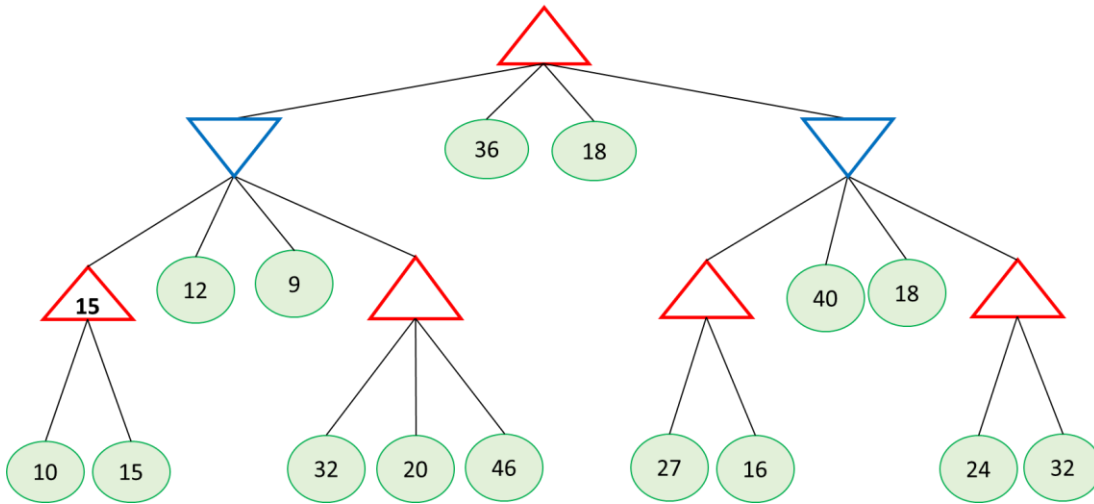
El cálculo de la utilidad ya sea mínimo (MIN) o máximo (MAX) se hace eligiendo un valor de sus hijos y al tipo de jugada que se está realizando. Por ejemplo, si se está evaluando en un nivel de máximo (MAX) se elegirá entre sus hijos el valor máximo. De igual forma, si se está evaluando en un nivel de mínimo (MIN) se elegirá entre sus hijos el valor mínimo. El juego empieza en el nivel más profundo y de izquierda a derecha. De allí, irá subiendo a próximo nivel en donde realizará la evaluación dependiendo del tipo de jugada máxima o mínima hasta llegar a la raíz. En cada nivel del árbol se tiene una sola jugada que puede ser mínima (MIN) o máxima (MAX). Cada nivel es distinto al adversario, es decir, que las jugadas están alternadas entre MIN y MAX. En el nivel de la raíz siempre se tiene el nodo (MAX).

Ejemplo: Utilizando el siguiente árbol de juego, aplicar el procedimiento Minimax.

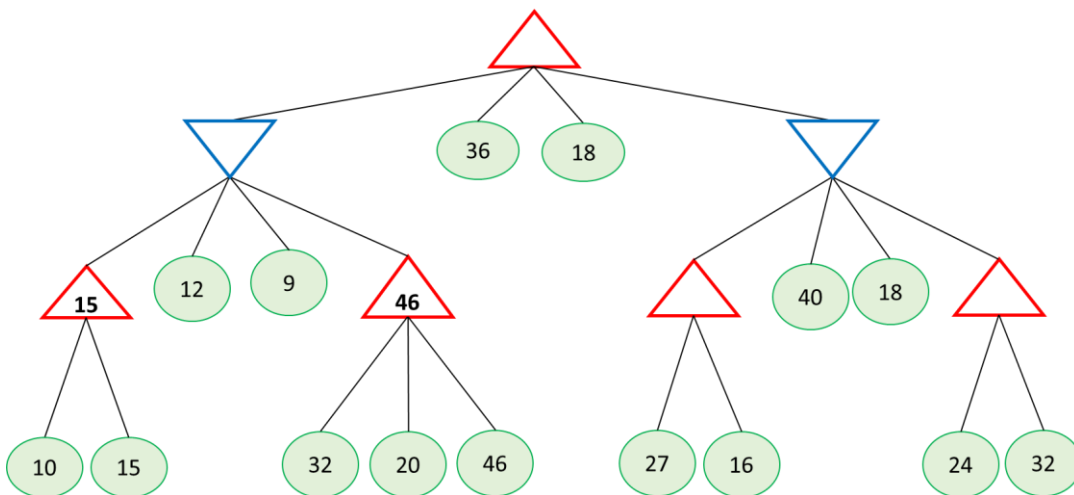


Solución:

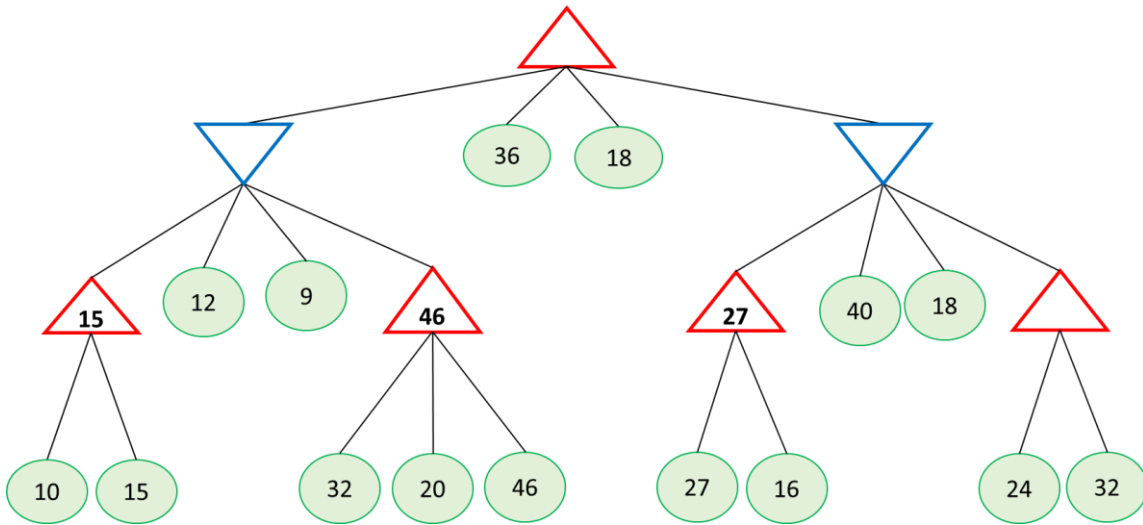
PASO 1



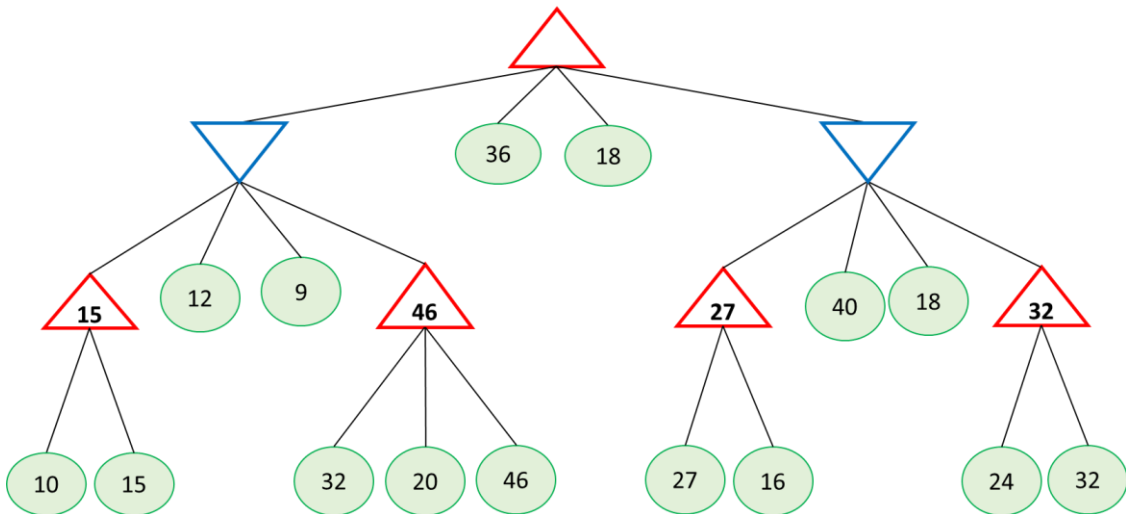
PASO 2



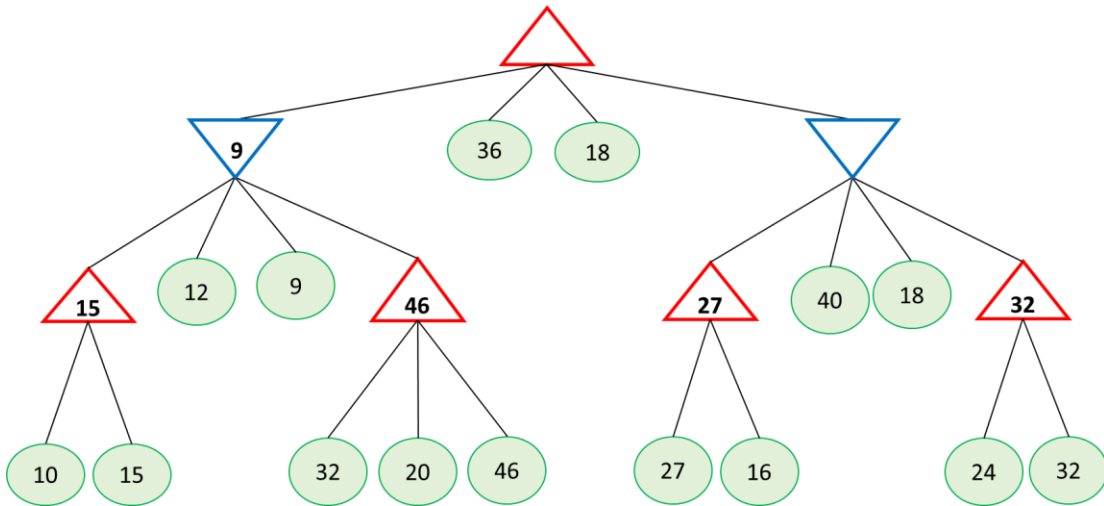
PASO 3



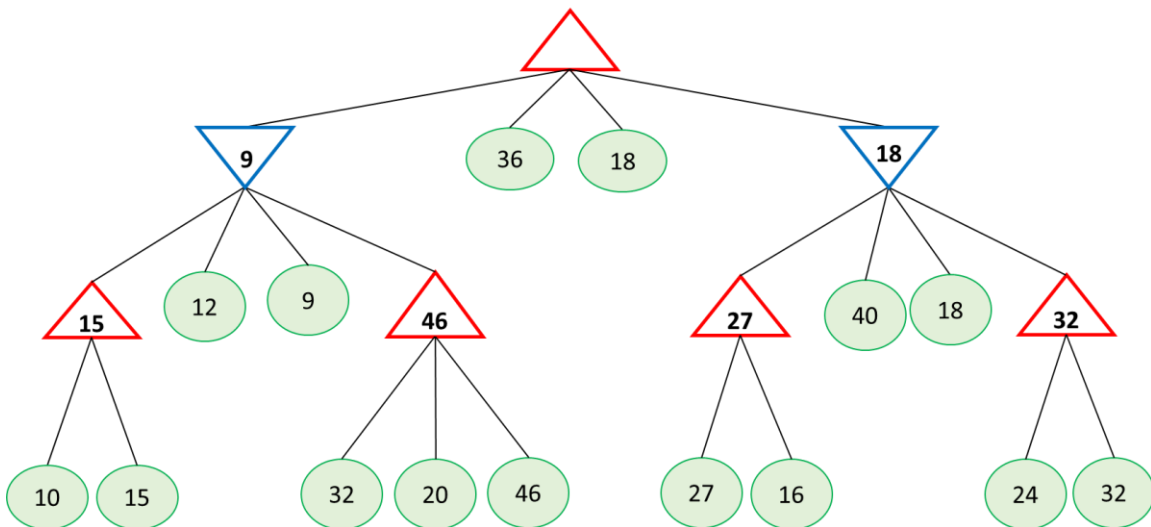
PASO 4



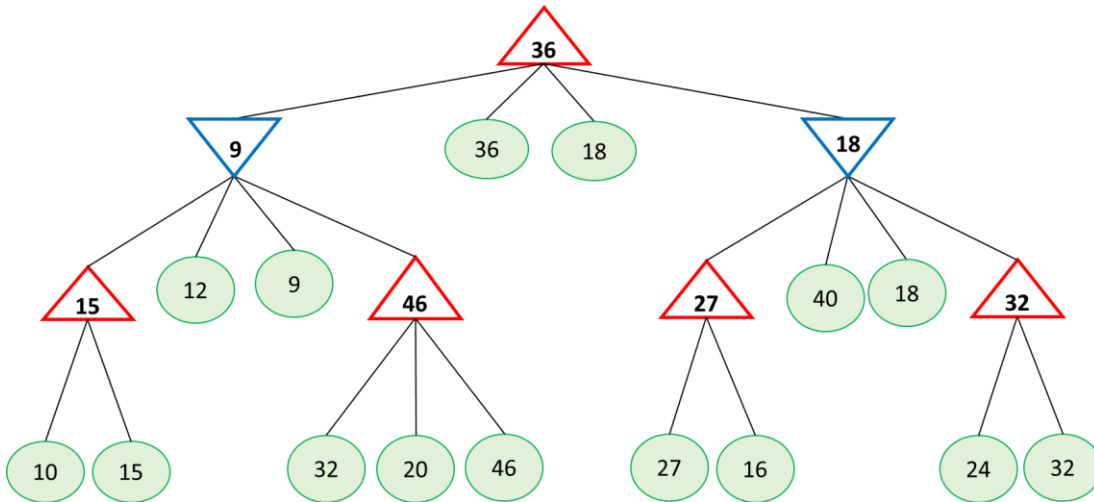
PASO 5



PASO 6



PASO 7



3.4.3. Procedimiento Alfa – Beta

El procedimiento Alfa-Beta permite eliminar partes grandes del árbol (poda), sin influir en la decisión final. El algoritmo utiliza dos parámetros:

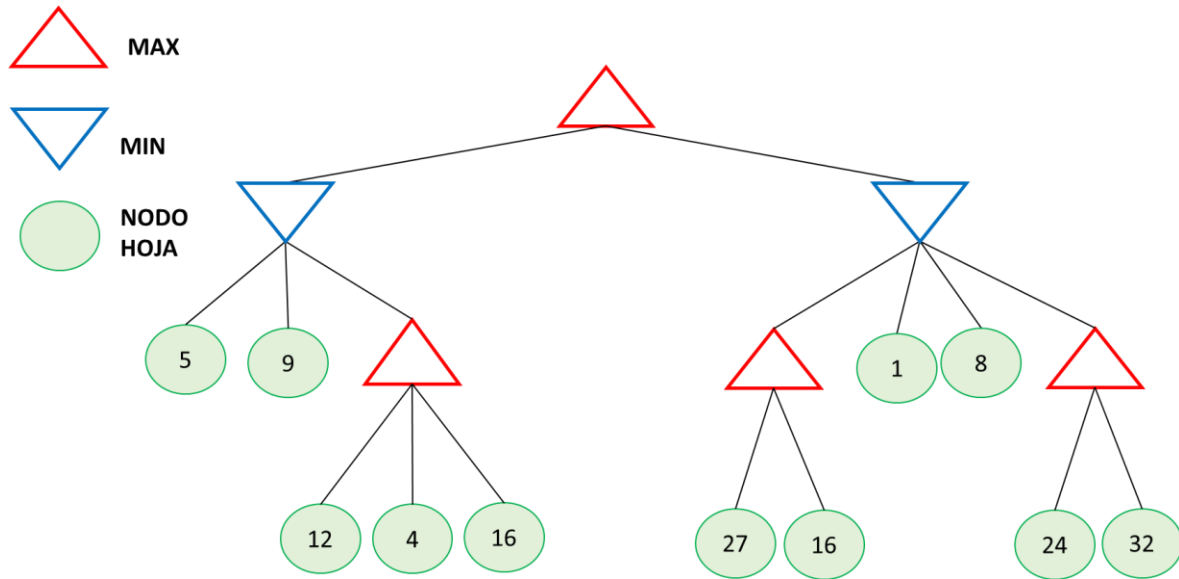
- ❖ **Alfa (α)** es el mejor valor que el **maximizador (MAX)** puede garantizar actualmente en ese nivel o superior.
- ❖ **Beta (β)** es el mejor valor que el **minimizador (MIN)** puede garantizar actualmente a ese nivel o superior.

Para comenzar el recorrido se inicializan $\alpha = -\infty$ y $\beta = +\infty$. Estos valores se envían hacia abajo durante la búsqueda para realizar la poda. Se actualiza α y β propagando hacia arriba los valores de los nodos terminales. Las cotas α y β se transmiten de padres a hijos de 1 en 1 y en el orden de visita de los nodos.

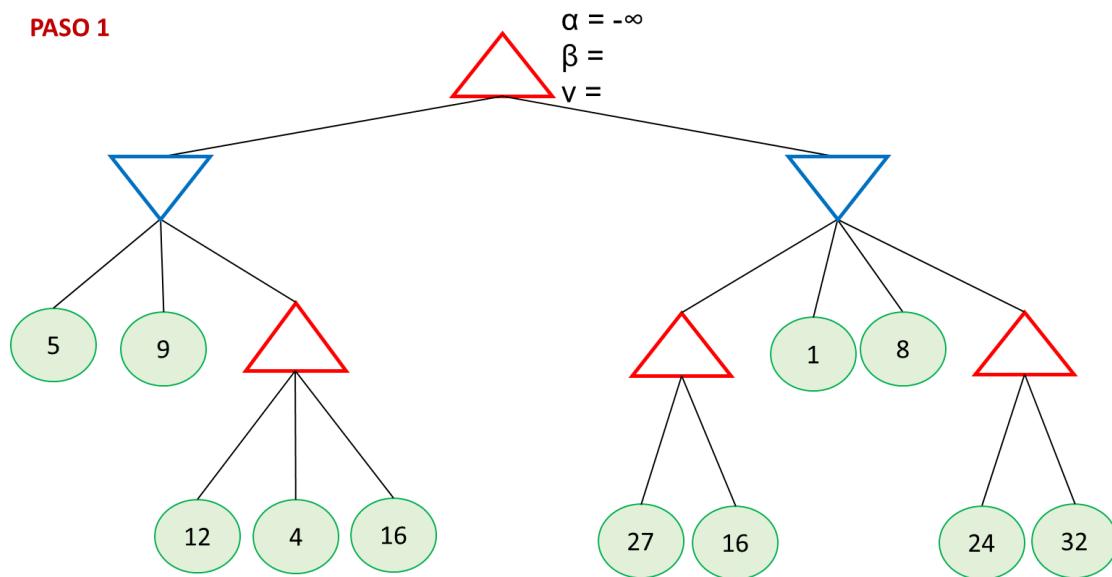
- ❖ Para el nodo **MAX** → Si $V \geq \beta$ entonces se **poda β** . Si $V > \alpha$ **modificar α** .
- ❖ Para el nodo **MIN** → Si $V \leq \alpha$ entonces se **poda α** . Si $V < \beta$ **modificar β** .



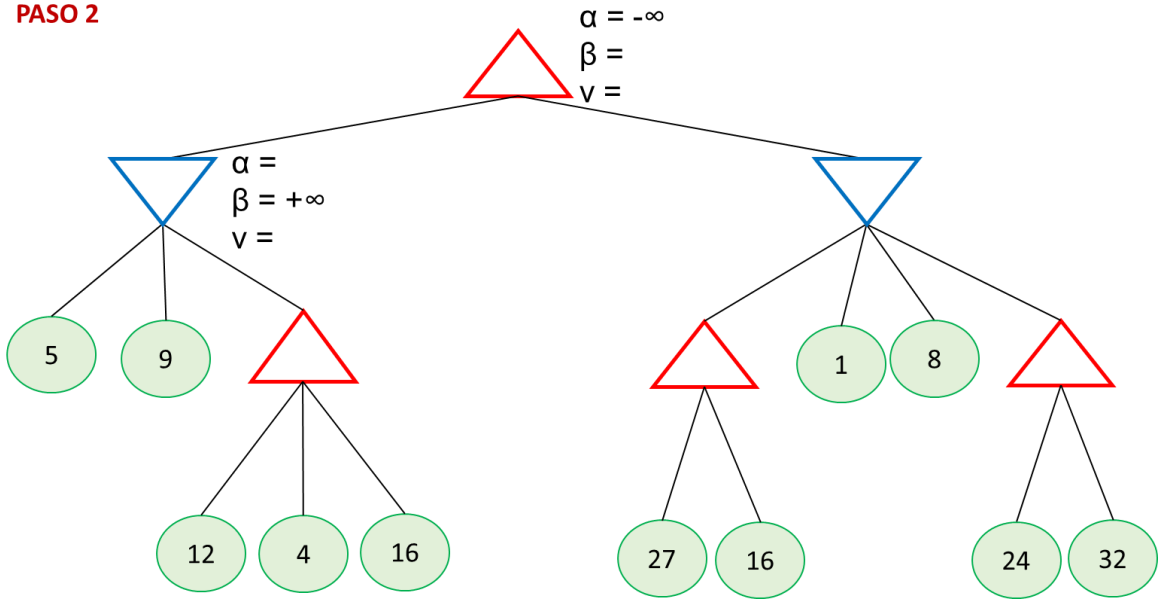
Ejemplo: Utilizando el siguiente árbol de juego, aplicar el procedimiento Alfa-Beta.



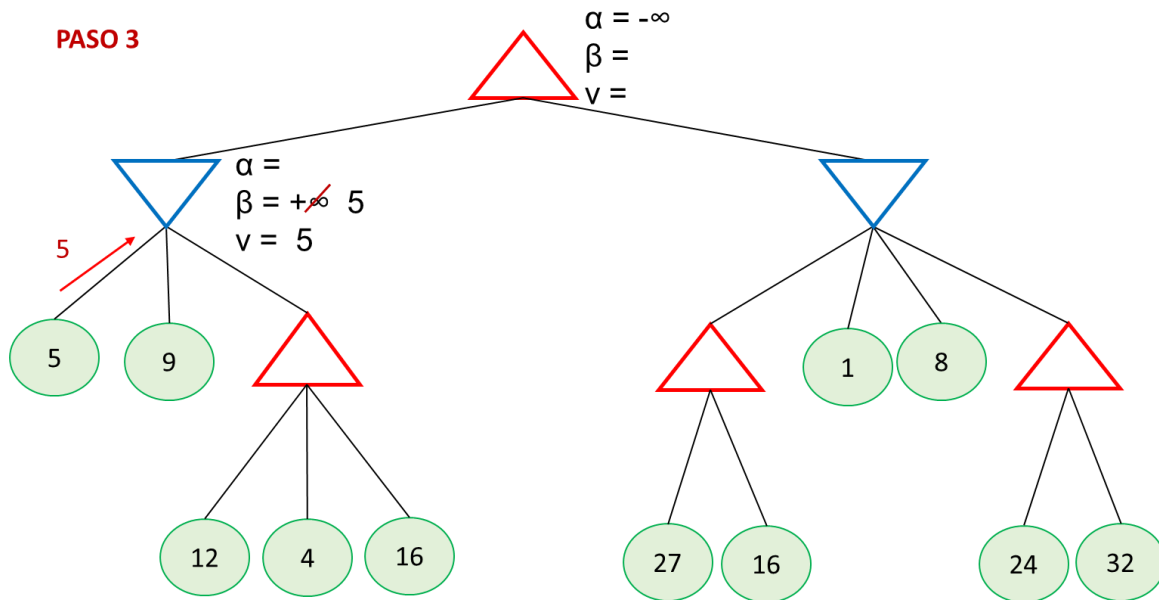
Solución:



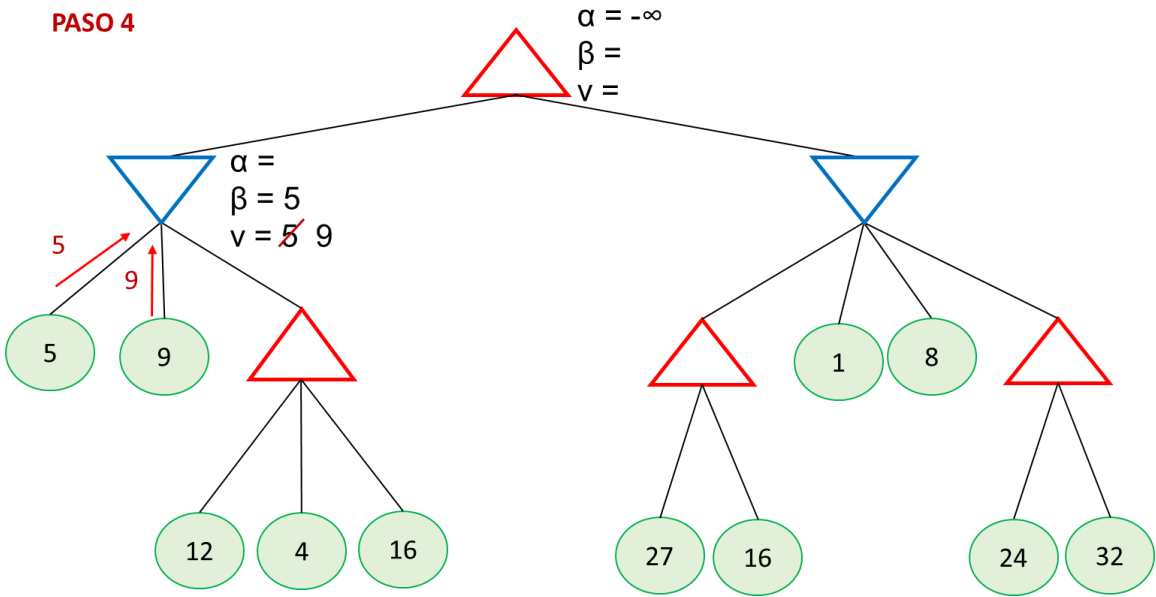
PASO 2



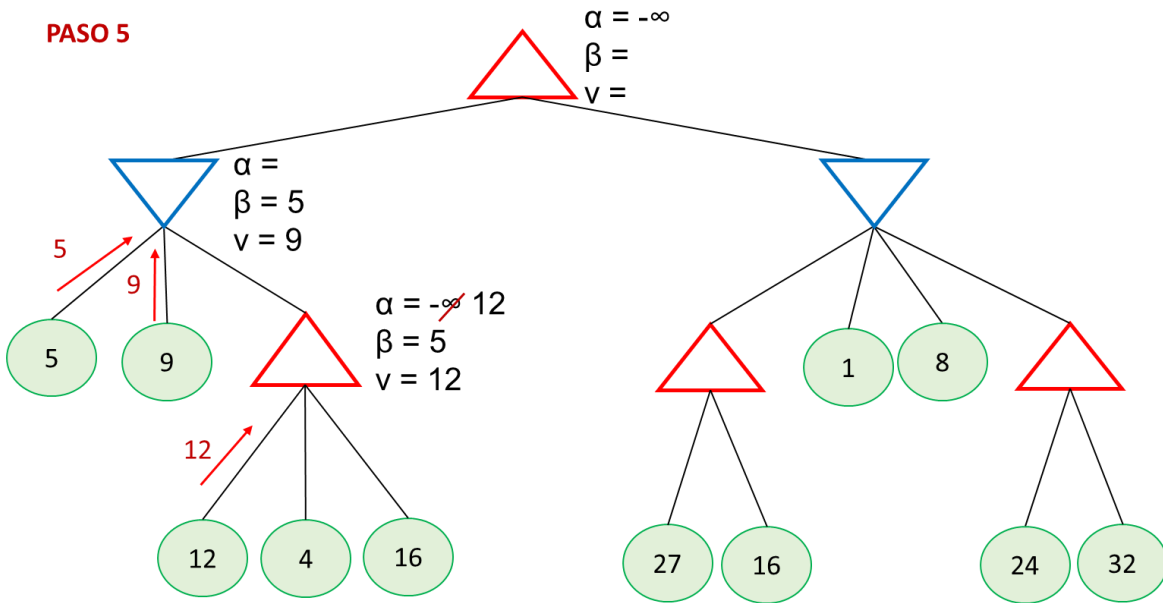
PASO 3

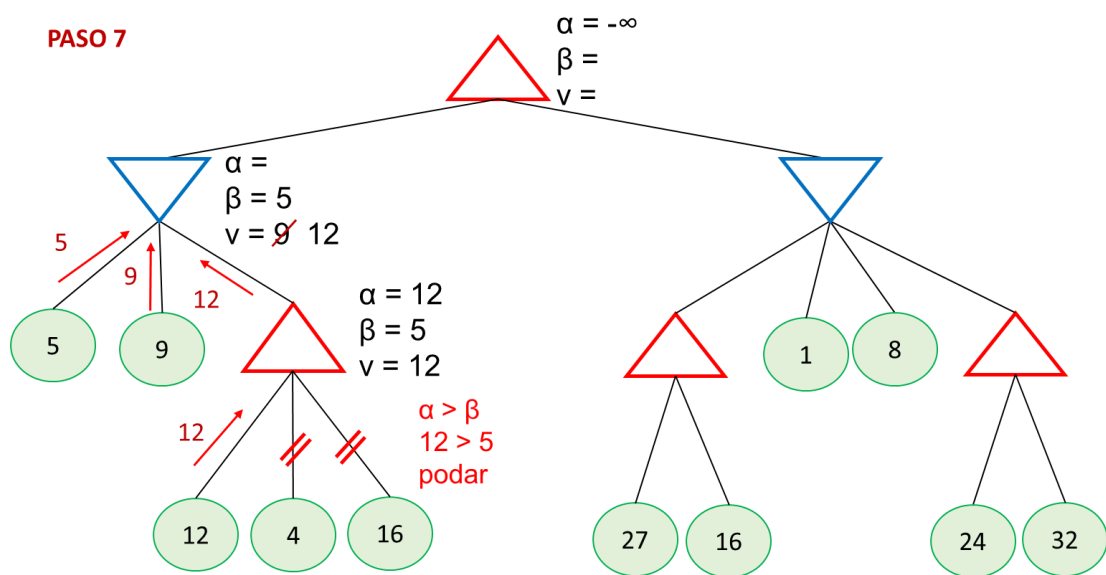
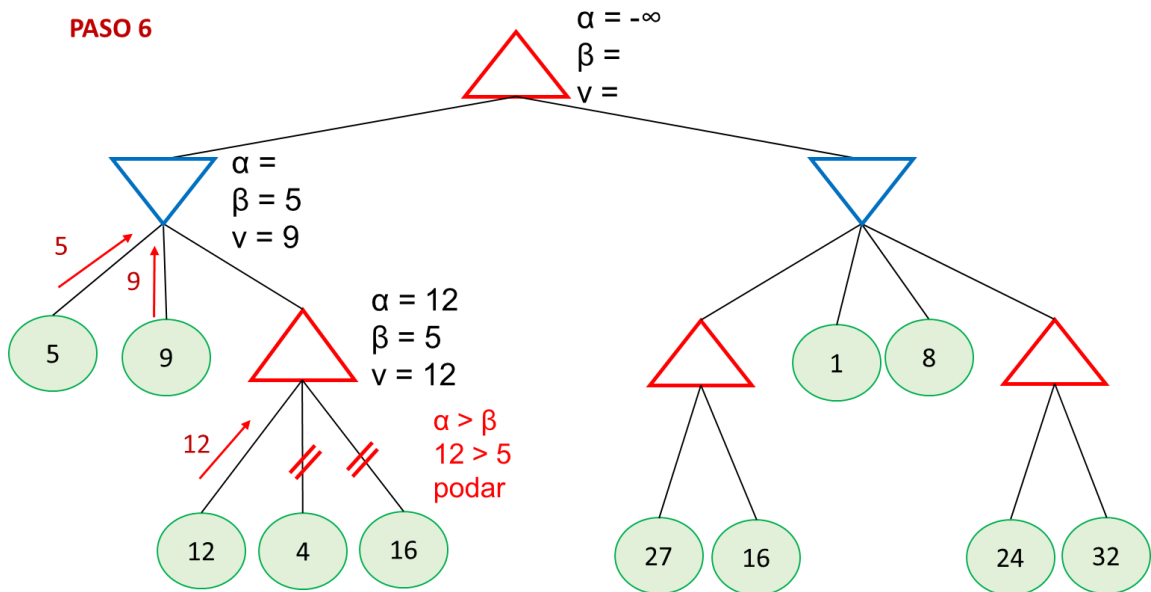


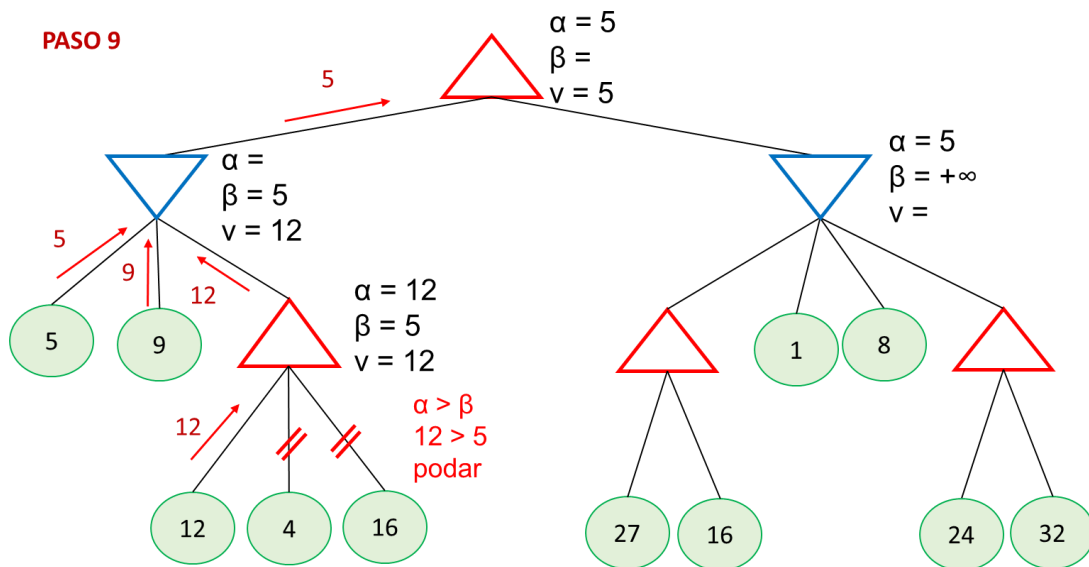
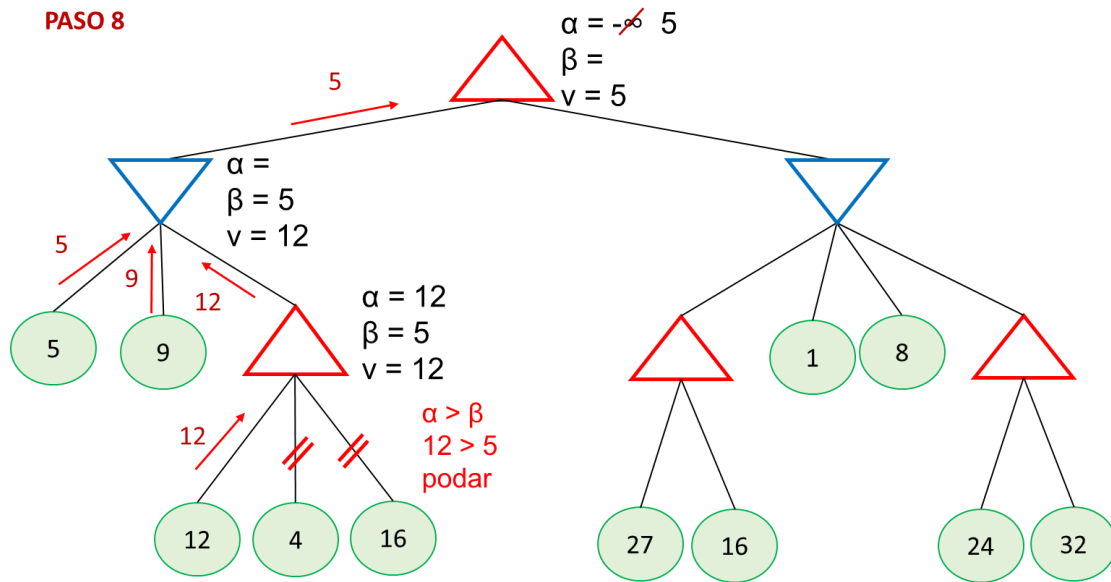
PASO 4

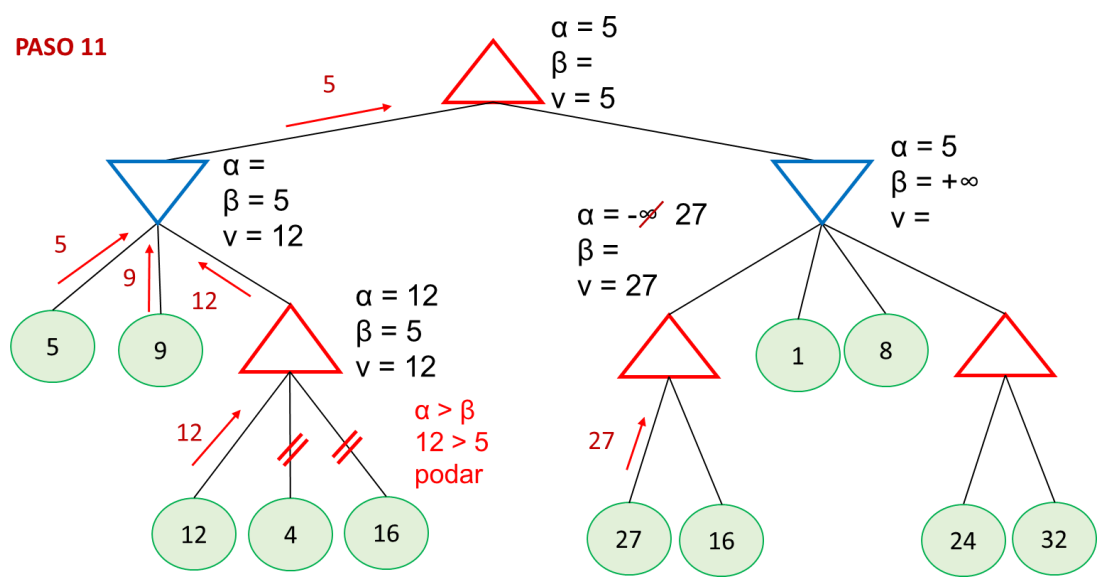
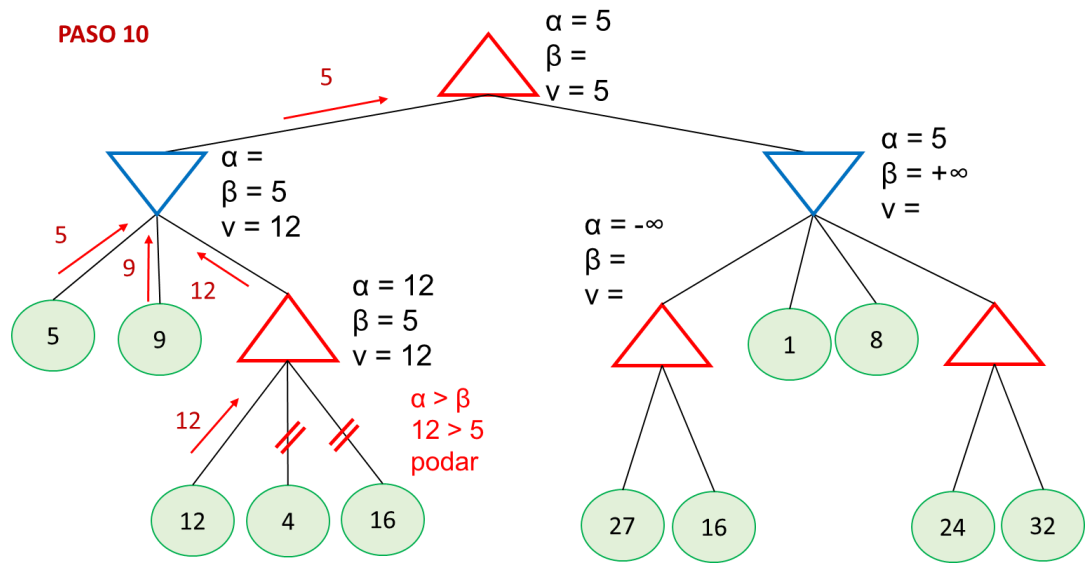


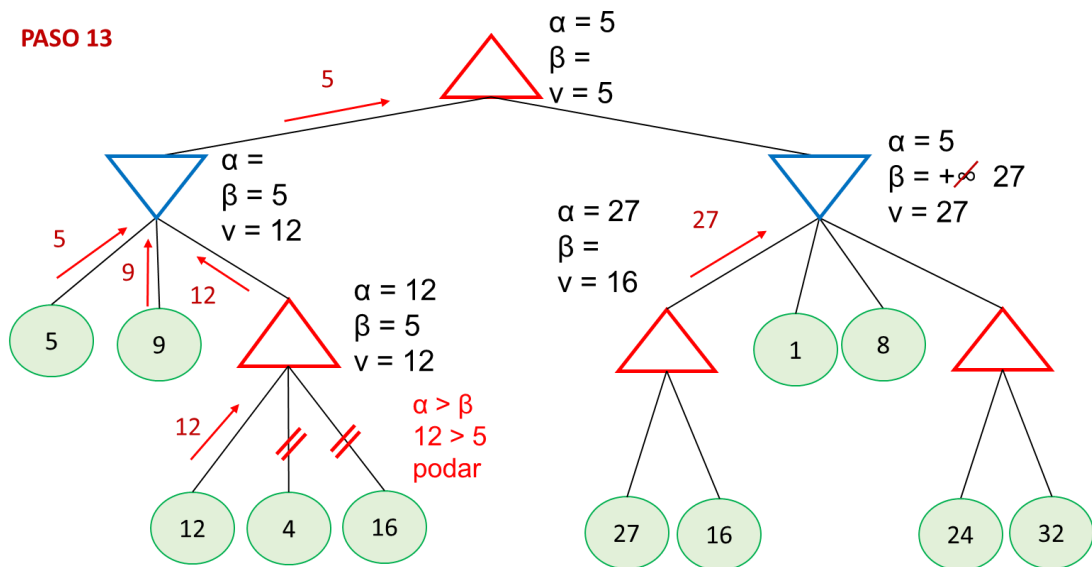
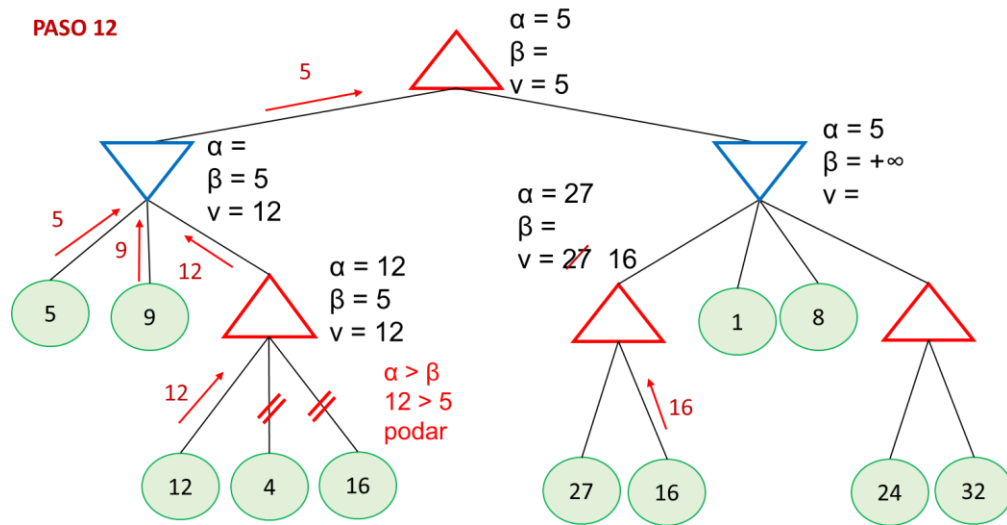
PASO 5

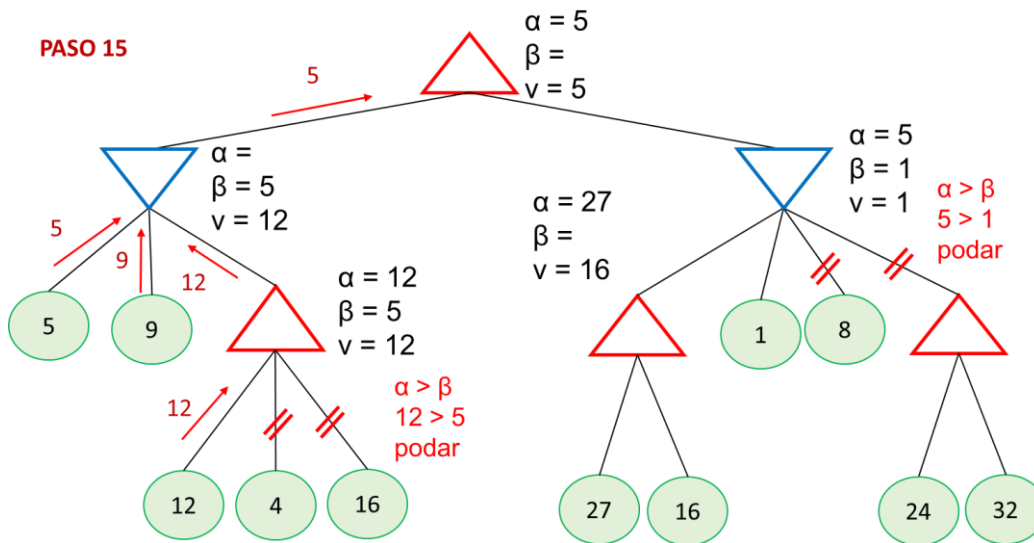
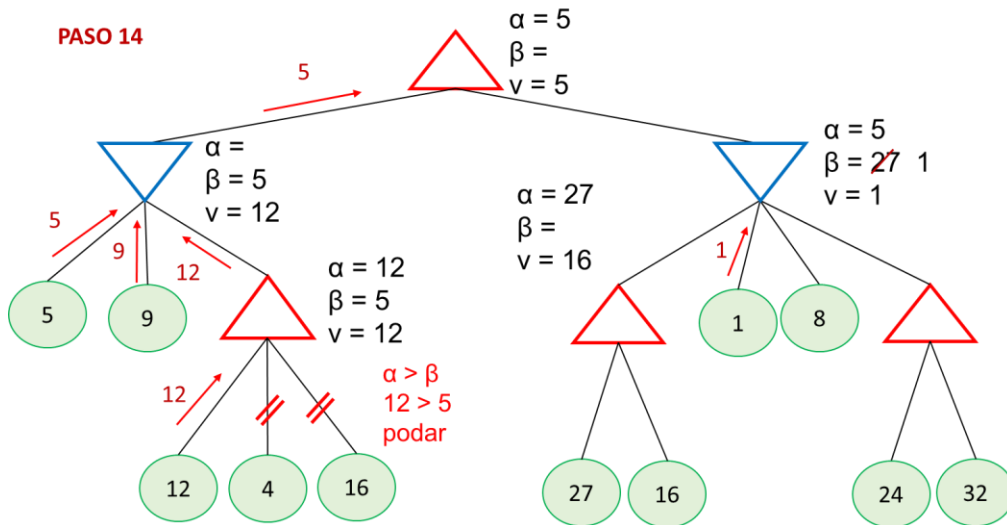




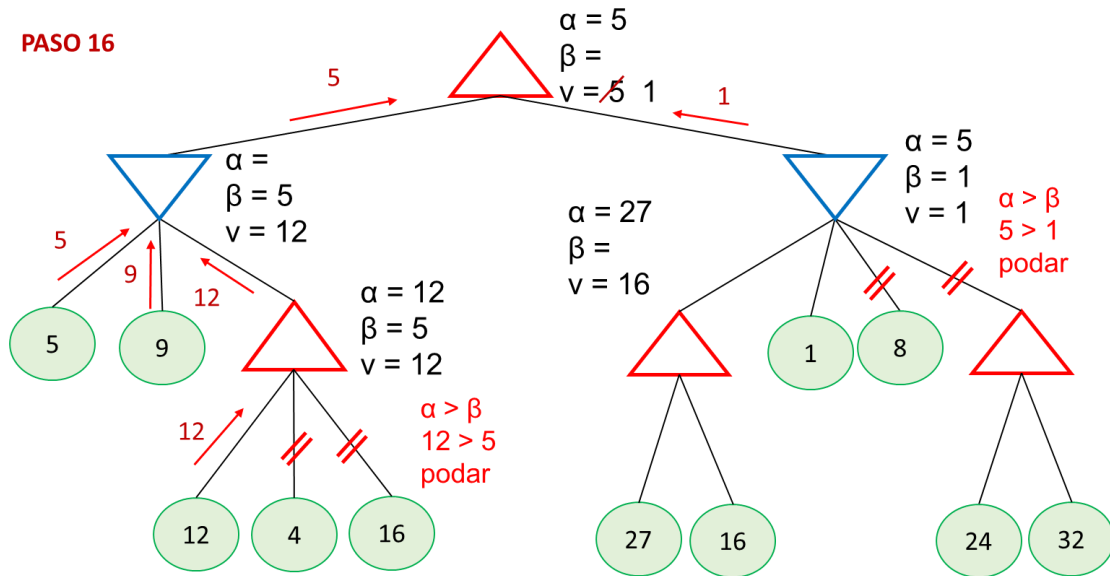








PASO 16



4. PROBLEMAS Y ESPACIOS DE ESTADOS

En Inteligencia Artificial, muchos de los problemas deben encontrar soluciones a través de un proceso de búsqueda en un espacio de estados. Estos problemas del mundo real generalmente son complejos, por lo que se requiere de una representación del conocimiento, la cual permite definir de manera formal el problema. En resumen, la Inteligencia Artificial es una combinación de dos factores: representación del conocimiento y búsqueda.

Los agentes utilizan información del estado, el cual contiene la información necesaria para predecir los efectos de una acción y determinar cuál es el estado objetivo. Para resolver problemas los agentes siguen tres grandes pasos que se detallan en la Ilustración 2:

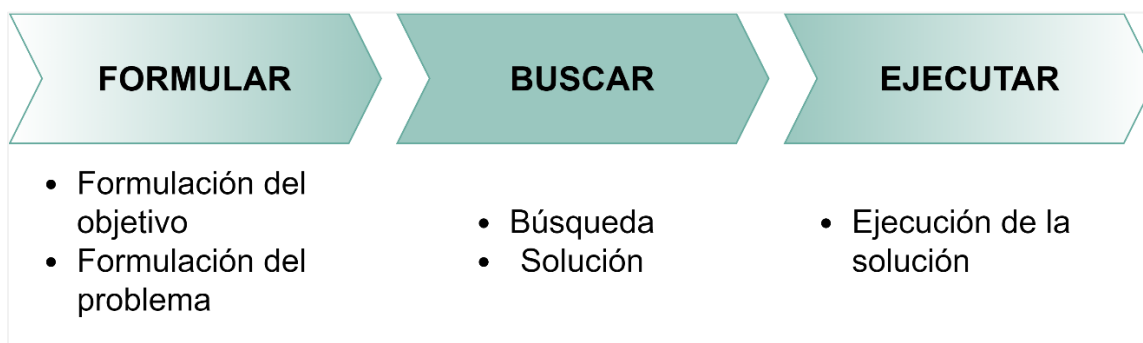


Ilustración 4. Pasos que siguen los agentes para resolver problemas. Elaboración propia.

- 1. Formulación del objetivo:** Especifica los objetivos a alcanzar. Se basa en la situación actual y en la medida del rendimiento del agente. El objetivo es un conjunto de estados y la tarea del agente es determinar cuál es la secuencia de acciones que lo llevarán al estado objetivo.
- 2. Formulación del problema:** Consiste en decidir a partir de un objetivo, qué acciones y estados se van a considerar.
- 3. Búsqueda:** El agente tiene varias opciones inmediatas de valor desconocido y para decidir qué hacer primero, examina diferentes secuencias de acciones posibles que puedan llevar a estados de valor conocido.



4. **Solución:** Corresponde a la mejor secuencia de acciones desde el estado inicial hasta el estado objetivo.

5. **Ejecución:** Consiste en realizar las acciones recomendadas por el agente.

Un agente basado en metas percibe su entorno a través sensores, lo cual le permite formular el objetivo y esforzarse por alcanzarlo. Conocer el objetivo le permite al agente organizar su comportamiento limitando los objetivos que busca satisfacer. Posteriormente, formulará el problema dependiendo de la información obtenida sobre el estado actual y buscará un conjunto de acciones que lleven hasta el objetivo

4.1. Definición del problema mediante una búsqueda en espacio de estados

Un problema de búsqueda definido mediante una búsqueda en espacio de estados se caracteriza por tener:

- Un **estado inicial** que es el estado desde el cual se inicia la búsqueda.
- Un conjunto de **operadores** que transforman un estado a otro distinto.
- Un **estado final** que es el objetivo que se quiere alcanzar.

El objetivo del proceso es llevar al sistema de su estado inicial a un estado final utilizando una secuencia de operadores. Además, el problema cuenta con algunos criterios que permiten especificar la calidad de una solución aceptable. Por ejemplo, en el caso de un agente, una secuencia de acciones que lo lleven a un estado objetivo puede ser una solución aceptable o bien puede tener costos asociados con las acciones y el agente puede requerir encontrar una secuencia de acciones con un costo mínimo. De esta manera se asegura que el agente encuentre una solución óptima.



La solución de problemas a través de un enfoque de agentes implica precisamente el uso de agentes. El agente realiza lo siguiente:

- **Formulación del objetivo:**
 - ✓ Estado final → ¿Cuál es el objetivo? ¿Cuáles es el conjunto de estados que permiten alcanzar el objetivo?
 - ✓ Estado inicial → ¿Cuál es el estado actual del mundo?
 - ✓ Acciones posibles → ¿Cuáles son las transiciones entre los estados del mundo?
- **Formulación del problema:**
 - ✓ ¿Cuáles son los estados posibles?
 - ✓ Accesibilidad → Los sensores del agente determinan en qué estado se encuentra.
 - ✓ Consecuencias de las acciones → El agente conoce los resultados de sus acciones.
 - ✓ Restricciones → Condiciones que influyen el proceso de resolución del problema.
 - ✓ Rendimiento → Medidas que se deben aplicar.
 - ✓ Costos → Utilización de recursos.
- **Búsqueda:**
 - ✓ Entrada → Descripción del problema, estado inicial.
 - ✓ Salida → Secuencia de acciones (solución)
 - ✓ Espacio de búsqueda → Conjunto de todas las secuencias de acciones posibles.
- **Solución:**
 - ✓ Validación → ¿La solución realmente logra el objetivo?
 - ✓ Verificación → ¿Es válida la secuencia de acciones?
 - ✓ Factibilidad → ¿Puede ejecutarse la secuencia de acciones con los recursos disponibles?



- ✓ Ejecución → Acciones a realizar.

4.2. Los sistemas de producción

Muchos sistemas en Inteligencia Artificial tienen una arquitectura que hace una clara separación entre sus componentes. Los sistemas de producción son parte de esta generalización formal y estos proveen pasos para resolver problemas a través de la descripción de una cadena de deducciones.

El formalismo de los sistemas de producción se basa en dos elementos:

- **Hechos:** son proposiciones o predicados.
- **Reglas:** son expresiones condicionales donde el consecuente es usualmente un predicado atómico o una acción.

Haciendo la analogía con la búsqueda en un espacio de estados, los hechos son el estado en el problema y las reglas son los operadores.

Componentes de un sistema de producción

Un sistema de producción tiene tres componentes básicos:

1. **Conjunto de reglas o producciones:** Una regla es un par condición-acción y define una sola porción del conocimiento utilizado para la resolución de problemas.
2. **Base de conocimiento:** Contiene una descripción del estado actual del mundo. Esta descripción contiene cualquier información que sea relevante para el problema dado. Algunas partes de la base de conocimiento pueden ser permanentes, mientras que otras pueden referirse sólo a la solución del problema actual que está siendo resuelto. La base de conocimiento cambia durante el proceso de resolución del problema para reflejar el estado actual del dominio.



3. **Sistema de control:** Determina el orden en el que las reglas son aplicadas y provee una forma de resolver cualquier conflicto que pueda surgir cuando varias reglas coinciden a la vez.

Estructura de una regla de producción

Una regla de producción permite representar un elemento mínimo de conocimiento a través de un modelo formal y se presenta de la forma: SI una cierta condición es satisfecha ENTONCES se hace lo siguiente. Así mismo, la condición o premisa de la regla puede tener conectivos lógicos como AND y OR.

En la Ilustración 3 se muestra la forma básica en que se presenta una regla de producción:

SI <condición> ENTONCES <acción/conclusión>

Ilustración 5. Forma básica en la que se presenta una regla de producción. Elaboración propia.

La estructura de una regla de producción consta de dos partes:

- **Antecedente:** Es la parte izquierda y determina la aplicabilidad de la regla. Son las cláusulas que se deben cumplir para que la regla sea evaluada o ejecutada.
- **Consecuente:** Es la parte derecha y describe la conclusión que se deduce de la premisa o la acción que debe realizarse si la regla es aplicada.



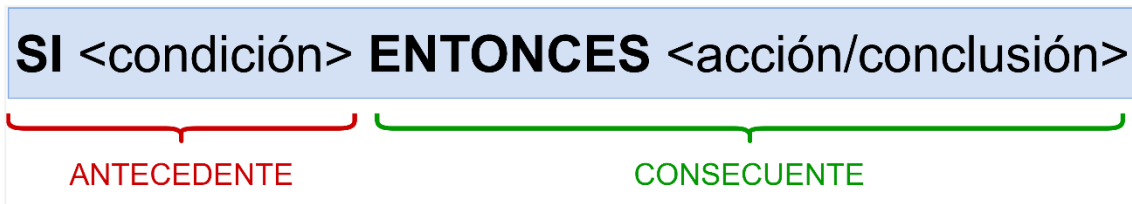


Ilustración 6. Estructura de una regla de producción. Elaboración propia.

Tipos de controles de búsqueda en un sistema de producción

Las reglas de producción son comparadas con el estado del problema en la base de conocimiento. Este proceso puede hacerse a través de dos tipos de razonamiento: deductivo e inductivo.

De acuerdo con el tipo de razonamiento se pueden distinguir dos tipos de controles de búsqueda, también conocidos como tipos de encadenamiento, como se muestra en la Ilustración 5.



Ilustración 7. Tipos de controles de búsqueda según el tipo de razonamiento. Elaboración propia.

- **Encadenamiento progresivo o basado en datos**

Se da cuando el lado izquierdo de una regla coincide con la información en la base de conocimiento, la regla se ejecuta y la conclusión obtenida permite que se ejecuten otras reglas.



Evidencias,
hechos



Conclusiones,
hipótesis

Ilustración 8. Encadenamiento progresivo. Elaboración propia.

Pasos del intérprete:

1. Reconocer las reglas que pueden ser aplicadas. Estas son las que los hechos cumplen con la **condición** de la regla que se está evaluando.
2. Descartar aquellas reglas que no añaden hechos nuevos.
3. Ejecutar la **acción o conclusión** de la regla aplicable con **menor número**. Si no hay reglas que se puedan aplicar se detiene el intérprete.
4. Vacía la lista de reglas aplicables y vuelve al paso 1.

Ejemplo:

Utilizando el siguiente sistema de reglas:

Regla 1: SI **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: SI **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: SI **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: SI **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: SI **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: SI **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: SI **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: SI **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: SI **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: SI **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: SI **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: SI **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: SI **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: SI **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: SI **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: SI **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: SI **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: SI **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

Realizar un encadenamiento progresivo con los siguientes hechos iniciales:



Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

Solución:



PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 1, 5, 14, 17

Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 1, 5, 14, 17
REGLAS SELECCIONADA: 1 (EL NÚMERO MENOR)

Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 1, 5, 14, 17
 REGLAS SELECCIONADA: 1 (EL NÚMERO MENOR)
 HECHO DERIVADO: ESTACIÓN = HUMEDA

HECHOS DERIVADOS:
 ESTACIÓN = HUMEDA

Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si mes = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si mes = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
 ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si precipitaciones = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si precipitaciones = alta
 ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si nivel = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

- Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si altura < 1
 ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si altura > 2
 ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si previsión = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si previsión = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si previsión = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 5, 14, 17

HECHOS DERIVADOS:
 ESTACIÓN = HUMEDA

precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si mes = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si mes = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
 ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si precipitaciones = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si precipitaciones = alta
 ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si nivel = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

- Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si altura < 1
 ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si altura > 2
 ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si previsión = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si previsión = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si previsión = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa



PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 5, 14, 17
 REGLAS SELECCIONADA: 5 (EL NÚMERO MENOR)

HECHOS DERIVADOS:
 ESTACIÓN = HUMEDA

precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 5, 14, 17
 REGLAS SELECCIONADA: 5 (EL NÚMERO MENOR)
 HECHO DERIVADO: CAMBIO = NINGUNO

HECHOS DERIVADOS:
 ESTACIÓN = HUMEDA
 CAMBIO = NINGUNO

precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa



PASO 3 REGLAS QUE APLICAN: 14, 17

**HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO**

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

**PASO 3 REGLAS QUE APLICAN: 14, 17
REGLAS SELECCIONADA: 14 (EL NÚMERO MENOR)**

**HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO**

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 14, 17**
REGLAS SELECCIONADA: 14 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: NIVEL = NORMAL

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL

altura = 1.6 previsión = nublado

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**=alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 8, 17**

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL

previsión = nublado

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**=alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 4 REGLAS QUE APLICAN: 8, 17
REGLAS SELECCIONADA: 8 (EL NÚMERO MENOR)

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL

previsión = nublado

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

PASO 4 REGLAS QUE APLICAN: 8
REGLAS SELECCIONADA: 8 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: ALERTA = NO, EVACUACIÓN = NO

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL
LLUVIA = LIGERA

previsión = nublado

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa



- **Encadenamiento regresivo o basado en objetivos**

Se intenta hacer coincidir el lado derecho de la regla (**acción o conclusión**) con la información en la base de conocimiento para establecer una conclusión. Si no se encuentra una afirmación que permite establecer la conclusión, dicha afirmación se puede establecer como un objetivo intermedio (**objetivo derivado**) y se busca una regla que lleve a esta conclusión, y así sucesivamente.



Ilustración 11. Encadenamiento regresivo. Elaboración propia.

4.3. Características del problema

Los sistemas de producción proveen las técnicas ideales para la representación de heurísticas, que son específicas del dominio, a través de reglas de la forma SI-ENTONCES. Algunas heurísticas son usadas para definir la estructura de control que guía el proceso de búsqueda, pero también pueden ser usadas para codificar las reglas que representan el conocimiento del dominio.

Pasos del intérprete:

1. Se comienza por un objetivo (conclusión que se desea probar) y se decide si los hechos (**condición o condiciones de la regla**) conducen al objetivo.
2. Se forma una pila con el objetivo inicial.
3. Se reúnen todas las reglas que satisfacen el primer objetivo en la pila.
4. Para cada una de estas reglas, examinar sus **condiciones**:
 - a) Si las **condiciones** son satisfechas entonces se ejecuta dicha regla y se derivan sus conclusiones (**Hecho derivado**). Se elimina el objetivo de la pila y se regresa al paso 3.



- b) Si una de las **condiciones** no se cumple, se buscan las reglas que pueden derivar dicha **condición**. Si se encuentra alguna regla, entonces se considera la **condición** como un nuevo objetivo (**objetivo derivado**), se coloca al principio de la pila, y se va al paso 3.
5. Si todas las reglas que pueden satisfacer el objetivo actual se han intentado y han fallado, entonces el objetivo en curso permanece indeterminado. Saca éste de la pila y vuelve al paso 3. Si la pila de objetivos está vacía, el intérprete se detiene.

Ejemplo:

Utilizando el siguiente sistema de reglas:

- | | |
|--|--|
| Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda | Regla 10: Si cambio =alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no |
| Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca | Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si |
| Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo | Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si |
| Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno | Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo |
| Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno | Regla 14: Si altura >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal |
| Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto | Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto |
| Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no | Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna |
| Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no | Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera |
| Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no | Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa |

Realice el Encadenamiento Regresivo para verificar los valores para alerta y evacuación dados los siguientes hechos iniciales:

Mes = septiembre precipitación = alta altura = 2.4 previsión = tormentoso

Solución:



PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN

Mes = septiembre precipitación = alta altura = 2.4 previsión = tormentoso

- Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12
OBJETIVO DERIVADO: NIVEL

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
NIVEL

Mes = septiembre precipitación = alta altura = 2.4 previsión = tormentoso

- Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 2 **REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15** **OBJETIVO**
ALERTA, EVACUACIÓN
NIVEL

Mes = septiembre **precipitación = alta** **altura = 2.4** **previsión = tormentoso**

- | | |
|---|--|
| <p>Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda</p> <p>Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca</p> <p>Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo</p> <p>Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto</p> <p>Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no</p> | <p>Regla 10: Si cambio=alto y nivel= normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 11: Si cambio= alto y nivel= alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí</p> <p>Regla 12: Si cambio= alto y nivel= alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí</p> <p>Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo</p> <p>Regla 14: Si altura >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal</p> <p>Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto</p> <p>Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna</p> <p>Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera</p> <p>Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa</p> |
|---|--|

PASO 2 **REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15** **OBJETIVO**
REGLAS SELECCIONADA: 15 **ALERTA, EVACUACIÓN**
NIVEL

Mes = septiembre **precipitación = alta** **altura = 2.4** **previsión = tormentoso**

- | | |
|---|--|
| <p>Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda</p> <p>Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca</p> <p>Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo</p> <p>Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto</p> <p>Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no</p> | <p>Regla 10: Si cambio=alto y nivel= normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 11: Si cambio= alto y nivel= alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí</p> <p>Regla 12: Si cambio= alto y nivel= alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí</p> <p>Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo</p> <p>Regla 14: Si altura >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal</p> <p>Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto</p> <p>Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna</p> <p>Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera</p> <p>Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa</p> |
|---|--|



PASO 2 **REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 15 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: NIVEL = ALTO

Mes = septiembre **precipitación = alta** **altura = 2.4** **previsión = tormentoso**

- Regla 1:** Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2:** Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5:** Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6:** Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7:** Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8:** Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no
- Regla 10:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13:** Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14:** Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15:** Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16:** Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17:** Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18:** Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
ALERTA, EVACUACIÓN **NIVEL = ALTO**

Mes = septiembre **precipitación = alta** **previsión = tormentoso**

- Regla 1:** Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2:** Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5:** Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6:** Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7:** Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8:** Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no
- Regla 10:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13:** Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14:** Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15:** Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16:** Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17:** Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18:** Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12**
OBJETIVO DERIVADO: CAMBIO

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
CAMBIO

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

- Regla 1:** Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2:** Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5:** Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6:** Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7:** Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8:** Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13:** Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14:** Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15:** Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16:** Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17:** Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18:** Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 3, 4, 5, 6**

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
CAMBIO

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

- Regla 1:** Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2:** Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4:** Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5:** Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6:** Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7:** Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8:** Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10:** Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12:** Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13:** Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14:** Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15:** Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16:** Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17:** Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18:** Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 3, 4, 5, 6**
REGLAS SELECCIONADA: 6

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
CAMBIO

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 3, 4, 5, 6**
REGLAS SELECCIONADA: 6
HECHO DERIVADO: CAMBIO = ALTO

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 5 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12

**OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN**

**HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO**

Mes = septiembre previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí

Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

**PASO 5 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12
OBJETIVO DERIVADO: LLUVIA**

**OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
LLUVIA**

**HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO**

Mes = septiembre previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí

Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 6 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 16, 17, 18

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
LLUVIA

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO

Mes = septiembre **previsión = tormentoso**

- Regla 1: SI **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: SI **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: SI **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: SI **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: SI **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: SI **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: SI **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: SI **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: SI **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10: SI **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: SI **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: SI **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: SI **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: SI **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: SI **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: SI **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: SI **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: SI **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 6 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 16, 17, 18
REGLAS SELECCIONADA: 18

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN
LLUVIA

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO

Mes = septiembre **previsión = tormentoso**

- Regla 1: SI **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: SI **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: SI **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: SI **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: SI **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: SI **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: SI **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: SI **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: SI **cambio**= alto y **nivel**= normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no
- Regla 10: SI **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: SI **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: SI **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: SI **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: SI **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: SI **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: SI **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: SI **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: SI **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 6 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 16, 17, 18**
REGLAS SELECCIONADA: 18
HECHO DERIVADO: LLUVIA = INTENSA

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

Mes = septiembre previsión = tormentoso

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 7 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12**

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

Mes = septiembre

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = no

- Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = sí, evacuación = sí
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



PASO 7 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12
REGLAS SELECCIONADA: 12

Mes = septiembre

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

- Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

PASO 7 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12
REGLAS SELECCIONADA: 12
HECHO DERIVADO: ALERTA = SI, EVACUACIÓN = SI

Mes = septiembre

- Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda
- Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca
- Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo
- Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno
- Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto
- Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 9: Si **cambio**= alto y **nivel**= normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

OBJETIVO
ALERTA, EVACUACIÓN

HECHOS DERIVADOS:
NIVEL = ALTO
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

- Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no
- Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si
- Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo
- Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
ENTONCES nivel = normal
- Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto
- Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna
- Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera
- Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa



4.4. Características de los sistemas de producción

Los sistemas de producción proveen una forma útil de describir las operaciones que pueden realizarse en la búsqueda de una solución a un problema. Para describir un sistema de producción de acuerdo con sus características, conviene definir los tipos de sistemas de producción:

- **Monótono:** La aplicación de una regla no impide la aplicación posterior de otra regla que pudo aplicarse en el momento en el que se seleccionó la primera regla.
- **No monótono:** La aplicación de una regla impide la aplicación posterior de otra regla que pudo aplicarse en el momento en el que se seleccionó la primera regla.
- **Parcialmente conmutativo:** Si la aplicación de una secuencia particular de reglas transforma un estado P en un estado Q, entonces cualquier combinación de esas reglas que esté permitida también transforma otro estado P en un estado Q.
- **Conmutativo:** Es un sistema de producción que es tanto monótono como parcialmente conmutativo.

En el sentido formal, no hay relación entre tipos de problemas y tipos de sistemas de producción. Dado que todos los problemas pueden resolverse mediante todo tipo de sistemas. Pero en el sentido práctico, definitivamente existe una relación entre los tipos de problemas y los tipos de sistemas que se prestan para describir esos problemas.

Los sistemas de producción proporcionan un modelo para codificar la experiencia en forma de reglas y diseñar algoritmos de búsqueda basados en patrones, las cuales son tareas fundamentales para el diseño de un sistema experto basado en reglas.



5. REPRESENTACIÓN Y MÉTODOS

Una representación del conocimiento es un conjunto de conclusiones acerca de cómo describir una clase de cosas. Encontrar una forma apropiada de representación del conocimiento es uno de los principales objetivos en la resolución de problemas. Por ello, se tiene como principio que una vez que se haya descrito un problema a través de una representación apropiada, el problema está casi resuelto.

Las características de una buena representación son:

- Muestra de forma explícita los objetos y relaciones importantes.
- Expone las restricciones naturales propios del problema. Expresan de qué manera un objeto o relación influencia otro.
- Une a los objetos y a las relaciones, porque se puede ver todo lo que se necesita de una sola vez.
- Suprime detalles irrelevantes.
- Es transparente, porque se puede entender fácilmente lo que se representa.
- Es completa, porque especifica todo lo que se necesita decir sobre el problema.
- Es concisa, porque muestra todo lo que se necesita decir de forma eficiente.
- Es rápida, porque se puede almacenar y recuperar información rápidamente.
- Son computables, porque se pueden crear con un procedimiento existente.

Toda representación del conocimiento se compone de cuatro partes fundamentales que son:

1. **Parte léxica:** Determina los símbolos permitidos en el vocabulario de la representación.



2. **Parte estructural:** Describe las restricciones sobre cómo los símbolos pueden ser organizados.
3. **Parte procedimental:** Especifica los procedimientos de acceso que permiten la creación de descripciones, su modificación y su uso para responder preguntas.
4. **Parte semántica:** Establece una forma de asociación del significado con las descripciones.

5.1. Redes semánticas y el método de descripción y pareamiento

Redes semánticas

Inicialmente, las redes semánticas se utilizaban principalmente para la comprensión del lenguaje natural, donde la semántica o el significado de las palabras asociadas en una oración eran extraídas para emplearlas en este tipo de representación del conocimiento. Posteriormente, las redes semánticas empezaron a aplicarse en una gran variedad de aplicaciones relacionadas al razonamiento en sistemas basados en el conocimiento dentro de la Inteligencia Artificial.

Una red semántica es un modelo de representación del conocimiento compuesto por nodos y enlaces entre los nodos.

- **Nodos:** Denotan objetos, conceptos, rasgos, eventos, tiempo. Se representan con círculos.
- **Arcos:** Denotan las relaciones entre los nodos. Estos se representan como flechas.

Los nodos se unen a través de los arcos. El nodo de cual parte el arco se denomina nodo origen y este es un concepto u objeto, mientras que el nodo al que se dirige el arco se denomina nodo destino.

La estructura de una red semántica puede tener tres tipos de relaciones:

- a) **Subclases:** Representadas como TIPO_DE o PARTE_DE.



b) Instancias: Representadas como ES_UN.

c) Propiedades: Aquellas que no son ni subclases o instancias. Es una característica del objeto.

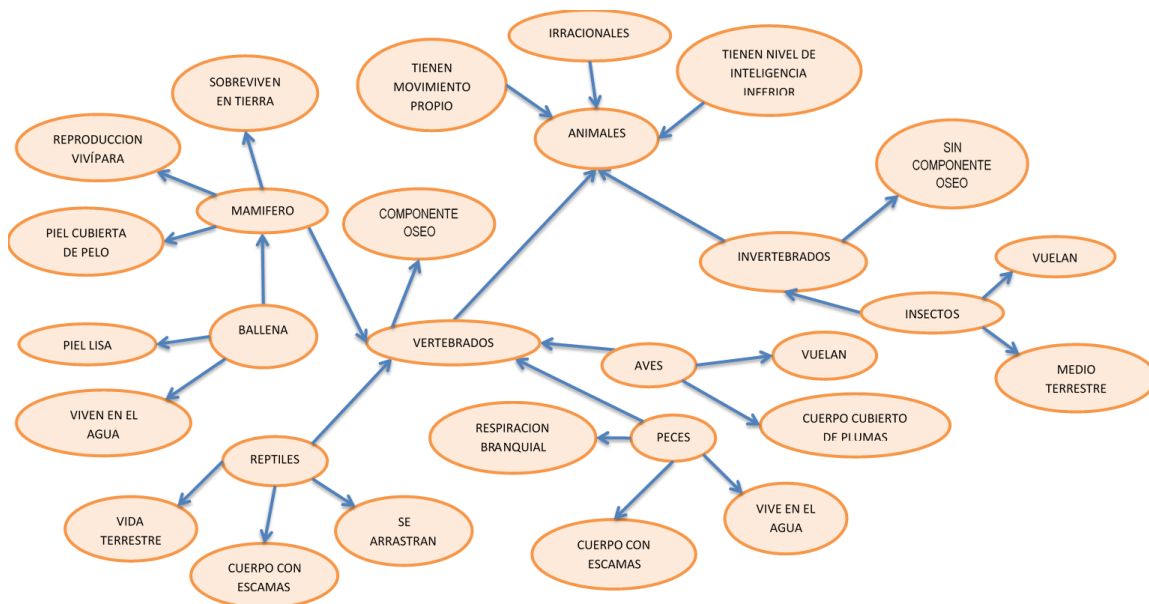
Ejemplo:

Representar el siguiente conocimiento utilizando una red semántica.

- Los animales son irracionales y se clasifican en vertebrados e invertebrados.
- Los vertebrados poseen componente óseo y los invertebrados no.
- Los animales tienen movimiento propio y tienen nivel de inteligencia inferior.
- Los mamíferos son vertebrados con reproducción vivípara, sobreviven en tierra y tienen la piel cubierta de pelo.
- Los reptiles son vertebrados de vida terrestre, cuerpo con escamas y se arrastran.
- Las aves son vertebrados, vuelan y son cuerpos cubiertos de plumas.
- Los peces son vertebrados con respiración branquial, cuerpo con escamas y medio de vida el agua.
- Los insectos son invertebrados, vuelan y su medio es terrestre.
- La ballena es un mamífero, con piel lisa y vive en el agua.

Solución:





Una de las principales características de las redes semánticas es su naturaleza jerárquica. En este sentido, cuentan con una propiedad denominada herencia, la cual permite hacer inferencias porque las propiedades de un objeto pueden ser deducidas a partir de su pertenencia a una categoría. Si un objeto pertenece a una clase, este hereda todas las propiedades correspondientes a esa clase.

Sin embargo, la herencia de un objeto puede volverse complicada cuando el objeto pertenece a más de una categoría o cuando la categoría puede ser subconjunto de alguna otra categoría. Esto se conoce como herencia múltiple.

Las redes semánticas ofrecen una serie de ventajas, descritas a continuación:

- Su estructura es similar a como los humanos estructuran el conocimiento a través de la construcción de relaciones entre los objetos.
- Proveen una visualización gráfica de un problema determinado, por lo que es fácil de implementar y comprender.



- Pueden utilizarse para encontrar relaciones entre distintos campos de estudio.
- Proporcionan un enfoque simple en el análisis de un problema.
- Permite el uso de un algoritmo de inferencia efectivo.

El método de descripción y pareamiento

El método de descripción y pareamiento permite identificar un objeto, primero describiéndolo y luego haciendo una búsqueda de una descripción que coincida dentro de una librería de descripciones. Los objetos involucrados pueden ser entidades físicas o abstractas.

El algoritmo del método de descripción y pareamiento es el siguiente:

1. Describir el objeto utilizando una representación adecuada.
2. Comparar la descripción del objeto contra la librería de descripciones, hasta que se encuentre una coincidencia satisfactoria o no haya más descripciones en la librería.
3. Si se encuentra una coincidencia satisfactoria, anunciarla. De lo contrario, anunciar falla.

Este método es utilizado en una gran variedad de programas por diferentes razones como el control de una secuencia de operaciones, identificación o clasificación de objetos, determinación de la mejor opción entre un conjunto de alternativas o recuperación de información de una base de datos. Es un método esencial en la ejecución de diversos programas en ramas como reconocimiento de voz, reconocimiento de lenguaje natural, reconocimiento de imágenes, aprendizaje, razonamiento automático, sistemas expertos, entre otros.

Para utilizar el método de descripción y pareamiento se requiere de una adecuada representación del conocimiento, porque pueden generarse problemas si los límites entre las clases no son claros o si un objeto pertenece a más de una clase.



5.2. Generación y prueba, método de análisis de medios y metas, y el método de reducción del problema

En esta sección se describirán tres métodos utilizados para la resolución de problemas. Estos métodos han evolucionado y pueden ser aplicados a una amplia variedad de tareas dentro de la Inteligencia Artificial. Estos métodos se enfocan en la forma que se representa, manipula y razona el conocimiento con fin de encontrar la solución de un determinado problema.

Generación y prueba

Generación y prueba es un paradigma que utiliza dos módulos básicos:

- **Un generador:** Enumera las posibles soluciones del problema.
- **Un evaluador:** Evalúa cada solución propuesta y la acepta o la rechaza.

El generador puede generar todas las posibles soluciones antes de que el evaluador tome el control, sin embargo, también pueden trabajar de forma intercalada. La ejecución se detiene cuando se encuentra una solución aceptable, o bien, la ejecución puede continuar hasta que todas las posibles soluciones sean encontradas.

El algoritmo del paradigma de generación y prueba es el siguiente:

1. Hasta que una solución satisfactoria sea encontrada o no se puedan generar más soluciones candidatas:
 - Generar una solución candidata.
 - Probar la solución candidata.
2. Si se encuentra una solución aceptable, anunciarla. De lo contrario, anunciar falla.

Este paradigma se utiliza principalmente para resolver problemas de identificación. En estos casos, el generador produce una hipótesis.

Un buen generador cuenta con las siguientes propiedades:



- **Completo:** Porque eventualmente produce todas las soluciones posibles.
- **No redundante:** Porque nunca compromete la eficiencia proponiendo la misma solución dos veces.
- **Informado:** Porque utiliza información que limita las posibilidades, por lo que restringe las soluciones que propone.

Método de análisis de medios y metas

El método de análisis de medios y metas toma como base un espacio de estado. El estado de un sistema es una descripción que es suficiente para determinar el futuro. En un espacio de estado, cada nodo denota un estado y cada arco denota una posible transición de un paso desde un estado hacia otro. Un espacio de estado es una representación que es un tipo de red semántica, en el que los nodos son los estados y los arcos son las transiciones entre los estados.

En la solución de un problema, los estados corresponden hacia dónde se dirige el proceso para la resolución del problema. Por lo tanto, el estado actual corresponde en dónde se está, el estado objetivo corresponde al estado al cual se quiere llegar y el problema es encontrar una secuencia de transiciones que lleven desde el estado inicial hasta el estado objetivo.

El propósito del análisis de medios y metas es identificar un procedimiento que genere una transición desde el estado actual hasta el estado objetivo, o al menos un estado intermedio que esté cerca del estado objetivo. Por lo tanto, el procedimiento identificado reduce la diferencia observada entre el estado actual y el estado objetivo.

El algoritmo del análisis de medios y metas es el siguiente:

1. Hasta que se encuentre el objetivo o haya más procedimientos disponibles:
 - Describir el estado actual, el estado objetivo y la diferencia entre ambos.



- Usar la diferencia entre el estado actual y el estado objetivo, posiblemente incluyendo la descripción de alguno de los dos estados, para seleccionar un procedimiento prometedor.
- Usar el procedimiento prometedor y actualizar el estado actual.

2. Si el objetivo es alcanzado, anunciar éxito. De lo contrario, anunciar falla.

Método de reducción del problema

Muchas veces es posible convertir objetivos difíciles en uno o más subobjetivos más fáciles de alcanzar, y a su vez, cada subobjetivo se divide en otros objetivos más pequeños. El método de reducción del problema permite reconocer las metas u objetivos y convertirlos en subobjetivos apropiadas. Por ello, este método también es denominado reducción de objetivos.

El propósito del método de reducción del problema es explorar un árbol de objetivos, denominado árbol semántico. Un árbol semántico es un tipo de red semántica en el que:

- Se tienen arcos especiales denominados ramas. Cada rama conecta dos nodos, el nodo principal se denomina nodo padre y el nodo final se denomina nodo hijo.
- Uno de los nodos no tiene padre, este es el nodo raíz. El resto de los nodos tienen exactamente un padre.
- Algunos nodos no tienen hijos y se denominan nodos hoja.
- Cuando dos nodos están conectados por una cadena de una o más ramas, se dice que uno es el ancestro y el otro es el descendiente.

Los nodos de un árbol de objetivos representan los objetivos y las ramas indican cómo alcanzar los objetivos a través de la resolución de una o más submetas.

Un árbol de objetivos se compone de dos tipos de objetivos:

- AND: Indica que todos los objetivos deben satisfacerse.



- OR: Indica que uno de los objetivos debe satisfacerse.

5.3. Reglas y encadenamiento de reglas

Una de las maneras en la que se puede mostrar lo que pueden hacer las reglas es a través de un diagrama denominado red de inferencia.

A veces, es útil mirar parte de una red de inferencia para responder preguntas sobre por qué se utilizó una afirmación o cómo se estableció una afirmación. Gran parte de esta capacidad se basa en la naturaleza simple y altamente restringida de las reglas. Para decidir cómo se concluyó una afirmación dada, un sistema de deducción basado en reglas solo debe reflexionar sobre las reglas que ha utilizado, buscando aquellas que contienen la afirmación dada como consecuencia. La respuesta requerida es solo una enumeración de esas reglas, quizás acompañada de información sobre sus afirmaciones desencadenantes.

Para responder a la pregunta sobre el razonamiento hecho por un sistema basado en reglas:

- Para responder a un CÓMO, reportar las afirmaciones conectadas al lado SI de la regla que establece la afirmación referenciada en la pregunta.
- Para responder a un POR QUÉ, reportar las afirmaciones conectadas al lado ENTONCES de la regla de todas las reglas que usan la afirmación referenciada en la pregunta.

Las reglas dentro de un sistema basado en reglas representan conocimiento. Para ello, los ingenieros de conocimiento adquieren el conocimiento de humanos expertos a través de dos heurísticas:

- a) Preguntar sobre situaciones específicas para aprender sobre el conocimiento general del experto.



- b) Preguntar acerca de pares de situaciones que son similares, pero que son manipuladas de forma distinta, para aprender acerca del vocabulario del experto.

Las reglas en un sistema basado en reglas naturalmente forman grupos de acuerdo con las conclusiones expresadas en el lado consecuente de las reglas.

Los sistemas basados en reglas, por lo general, se usan en dominios en los que las afirmaciones son casi ciertas o falsas. Estos sistemas resuelven muchos problemas y responden a preguntas simples acerca de cómo llegan a sus conclusiones. Sin embargo, carecen de muchas de las características de un experto, ya que no razonan en múltiples niveles, no utilizan modelos que exponen restricciones, no miran a los problemas desde diferentes perspectivas, no saben el cómo ni el cuándo romper sus propias reglas y no tienen acceso al razonamiento detrás de sus propias reglas.

5.4. Plantilla y herencia

Las plantillas o frames (en inglés) son un método útil de representación del conocimiento conocido como el sentido común, dado que este es un área difícil de dominar para las computadoras.

Una plantilla se compone de un grupo de ranuras (slots en inglés) y rellenos (fillers en inglés) que definen un objeto.

- **Ranuras:** Representan atributos.
- **Rellenos:** Contienen valores o procedimientos para calcular valores.

Una plantilla por sí mismo no es muy útil. Sin embargo, **cuando varias plantillas se conectan unos con otros se forma un sistema de plantillas** que aportan conocimiento.

Una de las propiedades de las plantillas es la herencia. Una plantilla tiene sus atributos en las ranuras y también toma como suyos a aquellos atributos que



pertencen a las plantillas padres, sólo si la plantilla hijo no tiene las ranuras que están en la plantilla padre.

Las ranuras pueden contener procedimientos opcionales y pueden ser de tres tipos:

- If-needed: Se ejecuta cuando el valor de una ranura se necesita, pero ninguno se presenta inicialmente o el valor por defecto no es apropiado.
- If-added: Se corre para procedimientos que se ejecutan cuando un valor se va a agregar a una ranura.
- If-deleted: Se corre cuando un valor se va a remover de una ranura.

Las plantillas generalmente se diseñan para representar conocimiento genérico o específico.

Ejemplo:

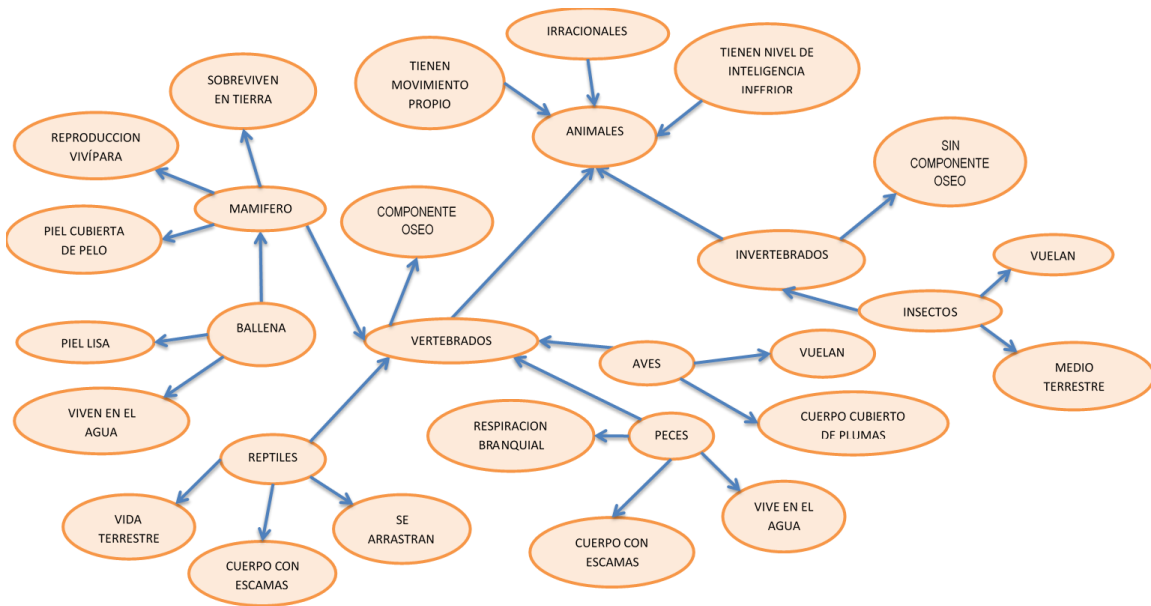
Elabore la plantilla que representa el siguiente conocimiento:

- Los animales son irracionales y se clasifican en vertebrados e invertebrados.
- Los vertebrados poseen componente óseo y los invertebrados no.
- Los animales tienen movimiento propio y tienen nivel de inteligencia inferior.
- Los mamíferos son vertebrados con reproducción vivípara, sobreviven en tierra y tiene la piel cubierta de pelo.
- Los reptiles son vertebrados de vida terrestre, cuerpo con escamas y se arrastran.
- Las aves son vertebrados, vuelan y son cuerpos cubiertos de plumas.
- Los peces son vertebrados con respiración branquial, cuerpo con escamas y medio de vida el agua.
- Los insectos son invertebrados, vuelan y su medio es terrestre.



- La ballena es un mamífero, con piel lisa y vive en el agua.

La red semántica correspondiente es:



Solución:

Frame	Animal
Tipo	Superior
Movimiento	Propio
Razonamiento	No
Inteligencia	Inferior

Frame	Vertebrados
Tipo	Animal
Componente Óseo	Si

Frame	Aves
Tipo	Vertebrado
Movimiento	Vuelo
Cuerpo	Con plumas

Frame	Invertebrados
Tipo	Animal
Componente Óseo	No

Frame	Reptiles
Tipo	Vertebrado
Movimiento	Se arrastra
Viven	Tierra
Cuerpo	Con escamas

Frame	Mamífero
Tipo	Vertebrado
Reproducción	Vivíparo
Viven	Tierra
Piel	Con pelos

Frame	Insecto
Tipo	Invertebrado
Movimiento	Vuelo
Medio de vida	Terrestre

Frame	Peces
Tipo	Vertebrado
Respiración	Branquial
Medio de vida	Acuático
Cuerpo	Con escamas

Frame	Ballena
Tipo	Mamífero
Viven	Agua
Piel	Lisa



MODULO III: ÁREAS DE INVESTIGACIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

6. AGENTES INTELIGENTES

6.1. Definiciones

Un **agente** puede definirse como una entidad que percibe su ambiente a través de sensores y actúa sobre este a través de actuadores. A continuación, se definen cada uno de estos términos.

- **Sensores:** Dispositivos que le permiten al agente recibir estímulos de su ambiente y convertirlos en percepciones. Reciben información del ambiente y pueden o no reflejar cómo es el mundo realmente. Algunos ejemplos de sensores pueden ser de temperatura, de presión, infrarrojo o de señales GPS.
- **Actuadores:** Dispositivos que le permiten al agente convertir comandos en acciones. El agente controla los comandos o mensajes que envía hacia los actuadores, así como también pueden ser utilizados para ejecutar acciones que permitan proveer al agente de más información sobre el mundo. Algunos ejemplos de actuadores pueden ser brazos, ruedas y luces.

Tanto los sensores como los actuadores pueden producir ruido, pueden estar rotos, pueden ser lentos o ser poco fiables.

En la **Ilustración 2** se muestra la forma en que un agente interactúa con su ambiente a través de sensores y actuadores.



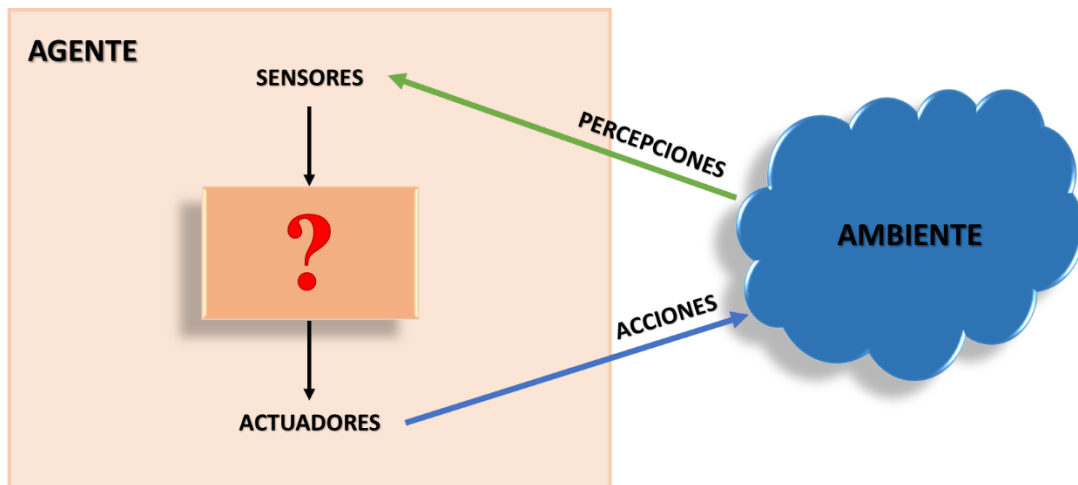


Ilustración 9. Partes de un agente y su interacción con el ambiente. Elaboración propia. Adaptado de (Russell & Norvig, 2010).

Un agente actúa de forma inteligente cuando:

- Realiza acciones apropiadas a sus circunstancias y a sus objetivos
- Es flexible en ambientes y objetivos cambiantes
- Aprende de la experiencia
- Toma decisiones apropiadas dadas sus limitaciones perceptuales y computacionales.

En este sentido, se pueden describir las siguientes propiedades de un agente inteligente;

- **Autonomía:** Es entendida como la habilidad de actuar sin la intervención de humanos u otros sistemas, así como la medida en la que su comportamiento es determinado por su propia experiencia. Esta propiedad es clave en todo agente, sin embargo, de forma general, cada agente cuenta con propiedades propias basadas en su dominio.
- **Reactividad:** Un agente inteligente percibe y responde en el momento oportuno a los cambios que ocurren en su entorno, con el fin de satisfacer los objetivos de su diseño.
- **Proactividad:** Un agente inteligente puede reconocer oportunidades y tomar la iniciativa para producir resultados significativos.
- **Habilidad social:** Los agentes inteligentes son capaces de interactuar con otros agentes, y hasta humanos, con el fin de satisfacer los objetivos de su diseño.



Un agente percibe entradas a lo largo del tiempo y esas entradas se almacenan en una **secuencia de percepción**, que es un historial completo de todo lo que el agente ha percibido.

La secuencia de percepción le da al agente la base para que este escoja una acción en un momento dado, por lo que se puede decir que las acciones del agente dependen de todo aquello que ha percibido y no de aquello que no ha percibido. En este sentido, el comportamiento de un agente es descrito matemáticamente por una función que mapea cada secuencia de percepción con una acción.

6.2. Proceder de un Agente Inteligente

El agente inteligente genera una secuencia de acciones de acuerdo con las percepciones que recibe y a su vez, esa secuencia de acciones causa que el ambiente pase por una secuencia de estados. Si la secuencia es deseable, el agente actúa bien. Esto es lo que se denomina racionalidad y es la característica que mide el éxito a través del rendimiento del agente. La medida del rendimiento evalúa cualquier secuencia dada de estados del ambiente.

El diseño de la medida del rendimiento de un agente inteligente, debe hacerse de acuerdo con los que se quiere en el ambiente y no como se piensa que debe comportarse el agente. Esto se debe a que no existe una medida de rendimiento fija para todas las tareas y todos los agentes.

El proceder de un agente inteligente consiste en seleccionar una acción para cada posible secuencia de percepción. Se espera que la acción escogida maximice su rendimiento, dada la evidencia provista por la secuencia de percepción y cualquier conocimiento incorporado. Sin embargo, la secuencia de percepción no siempre provee toda la información relevante.

El agente inteligente debe recopilar información con el fin de modificar percepciones futuras, así como aprender lo más posible de todo lo que percibe de su ambiente. En algunos casos, el agente puede estar configurado inicialmente de manera que tiene un conocimiento previo del entorno, pero a medida que gana experiencia, ese conocimiento puede modificarse y aumentar.

Este es un aspecto importante en todo agente inteligente, dado que es lo que asegura que este sea autónomo y que sea capaz de aprender para compensar todo conocimiento previo que sea incorrecto o que esté incompleto.



6.3. Estructura de un Agente Inteligente

La Inteligencia Artificial permite diseñar el programa que implementa la función del agente, es decir, la función que permite mapear las percepciones con las acciones. El programa se ejecuta en algún tipo de arquitectura física, que no es más que un dispositivo computacional con actuadores y sensores.

En este sentido, la estructura de un agente inteligente se compone de una arquitectura y un programa, como se indica en la **Ilustración 3**.



Ilustración 10. Estructura de un agente. Elaboración propia.

El programa debe ser adecuado para la arquitectura del agente inteligente, ya que la arquitectura pone a disposición del programa las percepciones a través de los sensores. Además, la arquitectura ejecuta el programa y a medida que las elecciones de acciones se van generando, la arquitectura las suministra a los actuadores.

El programa del agente toma como entrada a las percepciones actuales por medio de los sensores y retorna una acción que se ejecuta a través de los actuadores. Las percepciones actuales son las únicas entradas que puede tomar el programa, ya que es lo que está disponible en el ambiente o entorno del agente.

Cada programa combina componentes particulares de diferentes maneras para generar acciones que van de acuerdo con el tipo de agente.

6.4. Tipos de Agentes Inteligentes

Los agentes inteligentes pueden clasificarse en cuatro tipos básicos:

1. Agentes reactivos



Los agentes reactivos son los tipos de agentes más simples. Su función se basa en seleccionar acciones basadas en la percepción actual de su entorno e ignorar el resto de la historia de percepciones. Utilizan reglas de producción (SI-ENTONCES).

Los agentes reactivos tienen una inteligencia limitada, ya que las decisiones que toma el agente sólo serán correctas si el ambiente es completamente observable. De otro modo, puede haber consecuencias serias; el agente puede entrar en un bucle infinito, el cual generalmente es inevitable en los casos en los que estos tipos de agentes están en un ambiente parcialmente observable.

Sin embargo, el agente puede escapar de un bucle infinito si realiza acciones al azar. Este comportamiento es propio de algunos entornos multiagente, pero no es común en entornos de un solo agente aunque puede ayudarlo en algunas situaciones.

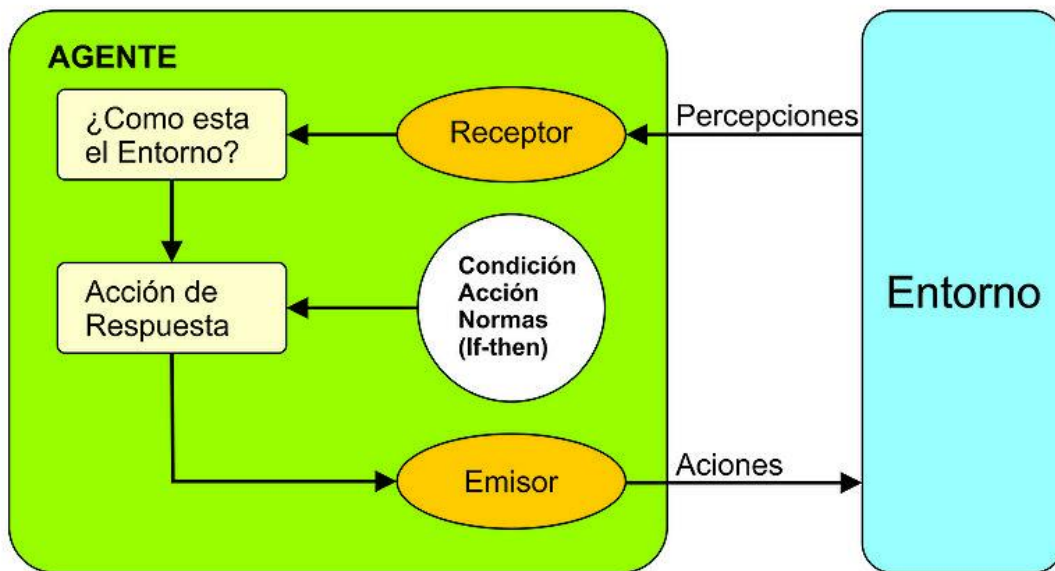


Ilustración 1. Agente Reactivo Simple.

2. Agentes reactivos basados en modelos

Los agentes reactivos basados en modelos utilizan conocimiento sobre el funcionamiento de su entorno, es decir, utilizan un modelo para hacer un



seguimiento de las partes del mundo que no pueden ser observadas en ese instante.

Este tipo de agente mantiene un tipo de estado interno que depende de la historia de percepciones, las cuales son reflejadas en algunos de los aspectos observables del estado actual. Por lo tanto, el estado interno del agente se actualiza constantemente y para ello requiere dos tipos de conocimientos que deben estar codificados en el programa que utiliza el agente.

Estos dos tipos de conocimientos utiliza información sobre cómo:

- evoluciona el mundo independientemente del agente.
- las acciones del agente afectan el mundo.

A pesar de ello, pocas veces el agente determina de manera exacta el estado actual del ambiente parcialmente observable. Aunque esta incertidumbre es inevitable, el agente de igual forma tiene que tomar una decisión.

3. Agentes basados en objetivos

Los agentes basados en objetivos son aquellos que utilizan como información un objetivo o meta que describe las situaciones deseables. Estos agentes son útiles en casos en los que el conocimiento sobre el estado actual del ambiente no es suficiente para la toma de decisiones.

El programa de este tipo de agente puede combinar la información sobre el objetivo con un modelo, como el utilizado en los agentes reactivos basados en modelos. De este modo, el agente puede utilizar este modelo para escoger acciones que lo lleven a alcanzar la meta.

La selección de acciones puede ser simple o complicada, y para el último caso, el agente debe hacer uso de subáreas de la Inteligencia Artificial como la búsqueda y la planeación, ya que estas se dedican a encontrar las secuencias de acciones que le permiten al agente llegar al objetivo.

Los agentes basados en objetivos son flexibles porque el conocimiento que sirve como base para la toma de decisiones, está representado de forma explícita y puede ser modificado. De este modo, el comportamiento del agente puede ser modificado al cambiar el objetivo de este.

4. Agentes basados en utilidad

Los agentes basados en utilidad hacen uso de una función de utilidad para medir el rendimiento. La medida de rendimiento le asigna un puntaje a cualquier secuencia



dada de los estados del ambiente, de modo que para el agente sea más fácil distinguir las acciones más deseables de las que no lo son.

Estos tipos de agentes implican muchas ventajas en cuanto a su flexibilidad y aprendizaje. Dado que en el mundo real la mayoría de los entornos son parcialmente observables y tienen un comportamiento estocástico, la toma de decisiones se hace con base en la incertidumbre. Los agentes basados en utilidad maximizan la utilidad esperada de los resultados de las acciones.

6.5. Acoplar un Agente a un ambiente

El ambiente o entorno es el problema para el cual el agente inteligente será la solución. Se debe especificar el entorno de tareas que incluye la medida de rendimiento, el ambiente y los sensores y actuadores del agente. Esto se conoce como PEAS, por sus siglas en inglés, y corresponde a Rendimiento, Ambiente, Actuadores, Sensores. Especificar el PEAS es el primer paso en el diseño de un agente inteligente, ya que de esta manera se especifica el entorno de tareas de la forma más completa posible. A continuación se muestran unos ejemplos de agentes y su descripción PEAS según Russell y Norvig.

Tabla 1. Ejemplos de agentes y su descripción PEAS según Russell y Norvig.

Agente	Desempeño	Ambiente	Actuadores	Sensores
Diagnóstico médico	salud paciente, minimizar costos y demandas	paciente, hospital, persona, tratamientos	preguntas, pruebas, diagnósticos,	lecturas, reportes, respuestas
Análisis imágenes de satélite	Clasificación correcta	satélite, control	despliegue imagen	color, intensidad
Brazo robótico	Porcentaje de piezas colocadas	línea de producción	codo, mano	cámara, ángulo de articulación



En este sentido, la especificación del PEAS depende del tipo de ambiente en el que estará en agente. Los ambientes pueden clasificarse de acuerdo con diferentes propiedades que pueden afectar la complejidad del proceso de la toma de decisiones del agente.

Se pueden distinguir cinco tipos de ambientes para agentes inteligentes:

1. Completamente observable o parcialmente observable

El ambiente es completamente observable cuando los sensores del agente le dan a esta información sobre el estado completo del entorno en cada instante, de modo que pueda detectar todos los aspectos relevantes para la toma de decisiones. En cambio, si los sensores del agente son inexactos, faltan partes del estado del entorno en los datos de los sensores o hay ruido, se dice que el ambiente es parcialmente observable.

2. De un solo agente o multiagente

Un ambiente de un solo agente es aquel en el que un agente opera por sí mismo, mientras que en un ambiente multiagente, varios agentes trabajan en conjunto. Los ambientes multiagentes pueden ser competitivos o cooperativos.

3. Determinístico o estocástico

Un ambiente determinístico es aquel en el que el siguiente estado es determinado completamente por el estado actual. Un ambiente estocástico tiene aspectos que van más allá del control del agente y las acciones son determinadas por resultados posibles.

4. Discreto o continuo

Esta distinción aplica para el estado del ambiente, la manera en que se maneja el tiempo y las percepciones y las acciones del agente. Si hay un número fijo y finito de acciones y percepciones, entonces el ambiente es discreto. De lo contrario, el ambiente es continuo.

5. Episódico o secuencial

En un ambiente episódico, la experiencia del agente se divide en episodios atómicos y para cada episodio, el agente percibe y realiza una sola acción. El episodio siguiente no depende de la acción del episodio anterior. En cambio, en un ambiente secuencial la decisión actual del agente puede afectar las decisiones futuras.

6. Estático o dinámico



Un ambiente estático no cambia mientras el agente toma la decisión sobre lo que tiene que hacer, mientras que un ambiente dinámico cambia y por lo tanto, el agente debe o puede consultar el mundo para decidir sus acciones.

7. Conocido o desconocido

En un ambiente conocido se dan todos los resultados de las acciones, mientras que en un ambiente desconocido, el agente tiene que aprender cómo funciona su entorno con el fin de tomar buenas decisiones.

A continuación, se dan algunos ejemplos de ambientes estudiados en IA y sus propiedades según Russell y Norvig.

Tabla 2. ejemplos de ambientes estudiados en IA y sus propiedades según Russell y Norvig.

Ambiente	Observ.	Determ.	Episódico	Estático	Discreto	SMA
Crucigrama	Si	Si	No	Si	Si	Mono
Backgammon	Si	Estocástico	No	Si	Si	Multi
Poker	Parcial	Estocástico	No	Si	Si	Multi
Tutor inglés	Parcial	Estocástico	No	No	Si	Multi
Robot navegador	Parcial	Estocástico	No	No	No	Mono
Diagnóstico	Parcial	Estocástico	No	No	No	Mono
Análisis imágenes	Si	Si	Si	Semi	No	Mono



6.6. Lenguajes para la construcción de agentes

Los lenguajes de programación orientados a agentes, (AOP por sus siglas en inglés), permiten desarrollar tecnología basada en agentes y la implementación de sistemas de este tipo. Estos lenguajes proporcionan abstracciones y construcciones de alto nivel que permiten la implementación directa y el uso de conceptos relacionados con agentes, así como la estructuración de la toma de decisiones. Por lo general, estos tipos de lenguajes proveen un framework de programación intuitivo, basado en el razonamiento simbólico o práctico.

Sin embargo, los lenguajes orientados a objetos también pueden utilizarse para implementar sistemas de agentes, ya que comparten ciertas características con los agentes, tales como encapsulación y la herencia.

Algunos de los lenguajes de programación orientados a agentes son:

- 3APL
- AgentSpeak
- ASPECS
- GOAL
- Golog
- MetateM
- PLACA
- JADE
- Concordia
- FIPA-OS
- Zeus
- Gossip
- JATLite
- Odyssey
- Aglets
- Voyager



7. SISTEMAS EXPERTOS

Un sistema experto es un software de Inteligencia Artificial que utiliza el conocimiento almacenado en una base de conocimiento para resolver problemas que generalmente requiere de un experto humano.

Los sistemas expertos se utilizan en varias áreas: diagnóstico médico, contabilidad, codificación, juegos y más. Estos son desarrollados para resolver problemas complejos en un dominio particular y su objetivo es preservar el conocimiento del experto humano en su base de conocimiento.

Un sistema experto consta de los siguientes componentes:

Base de conocimiento: representa los hechos y las reglas. Contiene conocimiento en dominios específicos junto con reglas para resolver problemas y los procedimientos que son relevantes para el dominio. La herramienta del sistema experto proporciona uno o más esquemas de representación de conocimiento para expresar conocimiento sobre el dominio de la aplicación. Algunas herramientas usan marcos (objetos) y reglas SI-ENTONCES.

Motor de inferencia: la función más es adquirir datos relevantes de la base de conocimiento, interpretarlos y encontrar una solución según el problema del usuario. Los mecanismos de inferencia para manipular la información simbólica y el conocimiento en la base de conocimiento forman una línea de razonamiento para resolver un problema. El mecanismo de inferencia puede variar desde el simple encadenamiento hacia atrás de las reglas SI-ENTONCES hasta el razonamiento basado en casos.

Módulo de adquisición y aprendizaje de conocimientos: permite que los sistemas expertos adquieran más datos de varias fuentes y los almacenen en la base de conocimientos.

Interfaz de usuario: es el medio de comunicación con el usuario. Es esencial para que un usuario no experto interactúe con el sistema experto y encuentre soluciones.

Módulo de explicación: explica las acciones que realizó el sistema para alcanzar la conclusión. La explicación puede variar desde cómo se llegó a las soluciones finales o intermedias hasta justificar la necesidad de datos adicionales.

7.1. Representación y uso del conocimiento del dominio

La representación del conocimiento es el método utilizado para formalizar y organizar el conocimiento en la base de conocimiento. Una representación ampliamente utilizada es la regla de producción, o simplemente la regla.

Los sistemas expertos cuyo conocimiento se representa en forma de reglas se denominan sistemas basados en reglas. En los mismos, el conocimiento está representado por **reglas de producción**, en donde, cada regla está formada por una condición o premisa representada por un **SI** y una acción o conclusión representada por un **ENTONCES**.

Otra representación del conocimiento muy utilizada son los sistemas basados en marcos en donde se puede representar el conocimiento simbólico asociado a una entidad. En estos se listan las propiedades y los valores asociados a cada una de esas propiedades de la entidad. De esta forma, un marco puede especificar los atributos de un objeto complejo.

La base de conocimiento de los sistemas expertos contiene conocimiento tanto real como heurístico. El primero, es el conocimiento del dominio de la tarea que se comparte ampliamente, el mismo, se puede encontrar en libros de texto, revistas, digitalmente, etc. Este conocimiento es comúnmente aceptado por aquellos con conocimientos en el campo particular.

Por otro lado, el conocimiento heurístico es el conocimiento de buenas prácticas, buen juicio y razonamiento plausible en el campo. Este es el conocimiento de desempeño menos riguroso, más experimental y crítico. El conocimiento heurístico rara vez se discute, y es en gran medida, individualista.

Las bases de conocimiento deben representar las nociones como acciones a tomar bajo circunstancias, causalidad, tiempo, dependencias, metas y otros conceptos de nivel superior.

7.2. Armazones de sistemas expertos

Son sistemas que contienen los métodos útiles para representar el conocimiento, hacer deducciones o generar explicaciones son ningún conocimiento específico. A

estos sistemas se les conoce como sistemas Shell (armazón, concha o carcaza), o simplemente herramientas soporte de la Inteligencia Artificial. Estos sistemas funcionan sin una base de conocimiento y proporcionan a los desarrolladores la adquisición de conocimiento, el motor de inferencia, la interfaz de usuario y la facilidad de explicación.

Utilizando un armazón se puede construir un sistema para realizar una tarea única. En donde, se debe colocar en el armazón todo el conocimiento necesario del dominio de la tarea. De igual forma, se construye en el armazón, el motor de la inferencia que aplica el conocimiento a la tarea actual.

Una de las ventajas de utilizar un armazón es que los mismos simplifican la programación, sin embargo, estos en general no ayudan con la adquisición del conocimiento. Algunos ejemplos de estos sistemas son: Java Expert System Shell (JESS), Vidwan, etc.

7.3. Adquisición de conocimiento

Un sistema experto adquiere el conocimiento relevante de su base de conocimiento y lo interpreta según el problema del usuario. Los datos en la base de conocimiento son esencialmente agregados por humanos expertos en un dominio particular.

El módulo de adquisición de conocimiento permite a los expertos modificar la base del conocimiento para actualización o corrección de errores en la base de conocimiento.

Un sistema experto se construye en un proceso conocido como ingeniería del conocimiento, durante el cual el conocimiento sobre el dominio se adquiere de expertos humanos y otras fuentes por ingenieros del conocimiento.

La adquisición del conocimiento es un proceso cíclico que sigue las siguientes tareas: recolección del conocimiento, interpretación, análisis y el diseño de métodos para recolectar conocimiento adicional. A continuación, se definen cada una de estas tareas.

Recolección: es la tarea de adquirir conocimiento del experto. Este esfuerzo requiere entrenamiento en técnicas de entrevistas.

Interpretación: de la información recolectada envuelve la identificación de piezas clave de conocimiento, como conceptos, reglas, estrategias, etc.

Análisis: Este esfuerzo proporciona la visión de formar las teorías en la organización del conocimiento y estrategias de solución de problemas.

Diseño: es la tarea de preparación para el siguiente encuentro con el experto.

En la adquisición del nuevo conocimiento se deben considerar la interacción de nuevas estructuras de datos con las ya almacenadas. Ambas estructuras deben ser compatibles para evitar interferencias y bajas en el rendimiento. Otro aspecto importante a considerar es que el conocimiento adquirido se constituya a su vez en fuente de nuevo conocimiento mediante un adecuado proceso inferencial.

7.4. Ejemplo e historia

Existen muchos ejemplos de sistemas expertos, en esta sección solo se mencionarán algunos de ellos:

- **MYCIN:** Este fue uno de los primeros sistemas expertos que se basó en el encadenamiento hacia atrás. Tiene la capacidad de identificar varias bacterias que causan infecciones graves. También es capaz de recomendar medicamentos basados en el peso de una persona.
- **DENDRAL:** Este fue un sistema experto basado en Inteligencia Artificial utilizado esencialmente para análisis químicos. Utiliza los datos espectrográficos de una sustancia para predecir su estructura molecular.
- **R1 / XCON:** este sistema experto tenía la capacidad de seleccionar un software específico para generar un sistema informático según las preferencias del usuario.
- **PXDES:** este sistema podría determinar fácilmente el tipo y el grado de cáncer de pulmón en pacientes basándose en datos limitados.
- **CaDet:** este es un sistema de apoyo clínico que identifica el cáncer en las primeras etapas.
- **DXplain:** este también es un sistema de apoyo clínico que es capaz de sugerir una variedad de enfermedades basadas solo en los hallazgos del médico.

Historia de los Sistemas Expertos

Podemos ubicar el inicio de los sistemas expertos a mediados de los años sesenta cuando algunos investigadores decidieron cambiar por completo el enfoque del problema del programa llamado GPS (General Problem Solver, solucionador general de problemas) desarrollado por Alan Newell y Herbert Simon para que pudiera simular el razonamiento de un experto humano. El GPS podía trabajar con criptoaritmética, con las torres de Hanoi y con otros problemas similares, pero no podía resolver problemas del mundo real. La idea de este cambio de enfoque les permitió centrarse en dominios de conocimiento muy concretos. De esta manera nacieron los sistemas expertos.

Edward Feigenbaum y su equipo, en 1965, comenzaron a desarrollar sistemas expertos utilizando bases de conocimiento en un dominio concreto. Este trabajo produjo sus frutos en 1967 cuando se construye DENDRAL, el primer sistema experto utilizado para propósitos reales. DENDRAL tuvo un gran éxito entre químicos y biólogos porque era capaz de identificar estructuras químicas moleculares a partir de su análisis espectrográfico.

En la década de los setenta se desarrolló MYCIN, un sistema experto orientado a la investigación y determinación de diagnósticos en el campo de las enfermedades infecciosas de la sangre. Este sistema introdujo nuevas características: utilización de conocimiento impreciso para razonar y posibilidad de explicar el proceso de razonamiento.

En MYCIN aparecen claramente diferenciados el motor de inferencia y la base de conocimientos. Al separar esas dos partes, se puede considerar el motor de inferencias aisladamente. Esto da como resultado un sistema vacío o shell (concha). Así surgió EMYCIN (MYCIN Esencial) con el que se construyó SACON, utilizado para estructuras de ingeniería, PUFF para estudiar la función pulmonar y GUIDON para elegir tratamientos terapéuticos.

En esa época se desarrollaron también: HERSAY, que intentaba identificar la palabra hablada, y PROSPECTOR, utilizado para hallar yacimientos de minerales.

En la década de los ochenta se ponen de moda los sistemas expertos, numerosas empresas de alta tecnología investigan en esta área de la inteligencia artificial, desarrollando sistemas expertos para su comercialización.

7.5. Ventaja de los sistemas expertos

Algunas de las ventajas de los Sistemas Expertos son:

- **Disponibilidad:** están fácilmente disponibles debido a la producción en masa de software.
- **Menor costo de producción:** los costos de producción de los sistemas expertos son extremadamente razonables y asequibles.
- **Velocidad:** ofrecen una gran velocidad y reducen la cantidad de trabajo.
- **Menos tasa de error:** la tasa de error es mucho más baja en comparación con los errores humanos.
- **Riesgos bajos:** son capaces de trabajar en entornos peligrosos para los humanos.
- **Respuesta constante:** evitan movimientos, tensiones y fatigas.

7.6. Proyectos con bases de conocimientos muy grandes

Bases de conocimiento muy grandes (VLKB) se han desarrollado para solucionar las restricciones que existen en las Bases de conocimientos de los Sistemas Expertos mediante las mejoras en las técnicas y tecnología de la computación utilizadas. Entre ellas podemos mencionar:

- Excesivo tiempo de respuesta: problemas sencillos eran resueltos más rápidos por lo humanos que por los sistemas.
- Dominio Restringido, las bases de conocimiento construidas tenían un dominio donde podían actuar y si se salía de éste podría dar resultados erróneos o no satisfactorios.

Para solucionar estos problemas, Feigenbaum creía que podía crear una base de conocimiento lo bastante grande con lo que podría abarcar un comportamiento generalmente inteligente. Con esta idea en mente emprendieron lo que se denomina los **proyectos de Bases de Conocimientos Muy Grandes (Very large knowledge base Projects -- VLKB)**. En Standford, Feigenbaum codificó el conocimiento acerca dispositivos electromecánicos en una sola base de conocimiento, la idea era

capturar todo el conocimiento sobre objetos de este tipo para usarlo después como ayuda de asistentes de diseño, construcción y mantenimiento de estos dispositivos.

A este tipo de proyectos se le sumó uno llamado Cyc (EnCYClopedia Britannica). Estos proyectos, el Cyc y los demás VLKB, surgieron en las épocas de los 90's. La idea de este proyecto es crear una base de conocimiento que proporcione los conocimientos básicos necesarios para ser aplicable a muchas aplicaciones diferentes. Al construir una base de conocimiento con este conocimiento general, se espera que la base de conocimiento pueda aprender (crear nuevas inferencias) por sí mismo y saber cuándo no tiene suficiente información en un dominio particular para resolver un problema. El enfoque utilizado para capturar esta información de sentido común para el proyecto fue "capturar todo el conocimiento, tanto implícito como explícito, en cien artículos seleccionados al azar en la EnCYClopedia Britannica". El sistema Cyc consta de cuatro componentes esenciales: la base de conocimiento, el lenguaje de representación de CycL, el motor de inferencia y los módulos de aplicación.

El objetivo principal del proyecto Cyc es comenzar a consolidar un banco de conocimiento coherente. Es el primer intento serio de construir una base de conocimiento de consenso humano y es naturalmente adecuado para ayudar en la integración de bases de datos. Sus habilidades de inferencia (después de fusionar varias bases de datos heterogéneas y relacionar todos sus contenidos con una base de conocimiento central) se pueden utilizar para detectar y resolver contradicciones. El sistema Cyc está destinado a proporcionar una capa de comprensión "profunda" que eventualmente puede ser utilizada por otros programas para hacerlos más flexibles y menos frágiles.

Cyc es un intento de hacer Inteligencia Artificial simbólica a gran escala. No se basa en métodos numéricos como las probabilidades estadísticas, ni se basa en redes neuronales o lógica difusa. Todo el conocimiento en Cyc se representa declarativamente en forma de afirmaciones lógicas. El motor de inferencia deriva nuevas conclusiones utilizando el razonamiento deductivo. Cyc está estrechamente relacionado con varios temas en IA, incluyendo inferencia, ontologías, aprendizaje deductivo, razonamiento basado en casos, lógica no monotónica, construcción de bases de conocimiento y mantenimiento de la verdad. Tiene aplicaciones para la comprensión del lenguaje natural, limpieza e integración de bases de datos y sistemas expertos.

Cyc ahora está siendo desarrollado comercialmente por Cycorp, que fue fundada en 1995 por el pionero de IA Doug Lenat como un spin-off de MCC. El desarrollo de Cyc ha sido respaldado por varias organizaciones, incluidas Apple, Bellcore, DEC, DoD, Interval, Kodak y Microsoft.

8. ROBÓTICA

8.1. Introducción

La robótica es la disciplina de ingeniería que se ocupa del diseño, construcción y operación de robots. Es la intersección de la ciencia, la ingeniería y la tecnología para producir robots que sustituyan (o repliquen) las acciones humanas. A partir de lo antes mencionado, podemos definir un robot como cualquier máquina operada automáticamente que reemplaza el esfuerzo humano.

El término robot deriva de la palabra checa robota ("trabajo forzado" o "siervo"), utilizado en la obra de Karel Čapek R.U.R. en 1920.

La palabra robótica apareció por primera vez en la historia de ciencia ficción de Isaac Asimov Runaround (1942). Junto con las historias de robots posteriores de Asimov, estableció un nuevo estándar de plausibilidad sobre la probable dificultad de desarrollar robots inteligentes y los problemas técnicos y sociales que podrían resultar. Runaround también contenía las famosas Tres leyes de la robótica de Asimov:

1. Un robot no puede dañar a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daños.
2. Un robot debe obedecer las órdenes que le dan los seres humanos, excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con la Primera Ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia siempre que dicha protección no entre en conflicto con la Primera o Segunda Ley.

Los robots se usan ampliamente en industrias como en la fabricación de automóviles para realizar tareas repetitivas simples y en industrias donde el trabajo debe realizarse en entornos peligrosos para los humanos.

Muchos aspectos de la robótica implican inteligencia artificial. Los robots pueden estar equipados con el equivalente de los sentidos humanos, como la visión, el tacto y la capacidad de detectar la temperatura. Algunos incluso son capaces de tomar decisiones simples, y en la actualidad, la investigación en robótica está orientada a diseñar robots con un grado de autosuficiencia que permita la movilidad y la toma de decisiones en un entorno no estructurado.

En general, hay cinco tipos de robots:

Robots preprogramados: los cuales operan en un entorno controlado donde realizan tareas simples y monótonas. Por ejemplo, un brazo mecánico en una línea de montaje automatizada cumple con la función de soldar una pieza o de insertar una cierta parte en el motor.

Robots humanoides: son robots que se parecen y / o imitan el comportamiento humano. Algunos de ellos están diseñados para parecerse a nosotros, con rostros y expresiones humanas. Algunos de estos robots pueden realizar actividades similares a las de los humanos como correr, saltar y transportar objetos.

Robots Autónomos: están diseñados para llevar a cabo tareas en entornos abiertos que no requieren supervisión humana. Estos operan independientemente de los operadores humanos.

Robots Teleoperados: son robots mecánicos controlados por humanos. Estos robots generalmente funcionan en condiciones geográficas extremas, clima, circunstancias, etc. Ejemplos de robots teleoperados son los submarinos controlados por humanos utilizados para reparar fugas de tuberías submarinas

durante el derrame de petróleo de BP o drones utilizados para detectar minas terrestres en un campo de batalla.

Robots aumentados: Los robots de aumento mejoran las capacidades humanas actuales o reemplazan las capacidades que un humano puede haber perdido. Algunos ejemplos de robots aumentados son prótesis robóticas o exoesqueletos utilizados para levantar pesas pesadas.

8.2. Para qué sirven los robots?

La robótica se encuentra avanzando a la par que avanza la tecnología. Una de las primeras aplicaciones de los robots fue en las fábricas de automóviles. En donde, se encontraban robots que consisten principalmente en brazos mecánicos encargados de soldar o atornillar ciertas partes de un automóvil. En la actualidad, más del 90% de todos los robots los podemos encontrar ensamblando automóviles en dichas fábricas.

Actualmente, la definición de la robótica ha evolucionado y se ha ampliado. Esta incluye el desarrollo, la creación y el uso de bots que exploran las condiciones más duras de la Tierra, robots que ayudan a la policía e incluso robots que ayudan en casi todas las facetas de la atención médica. A continuación, se explica algunos otros usos de los robots.

Fabricación

El usuario de robots más antiguo y conocido, probablemente, es la industria manufacturera. En donde se trabaja con robots y co-bots (bots que trabajan junto a los humanos) para probar y ensamblar productos de manera eficiente. Ejemplos de estos productos son: automóviles y equipos industriales.

Logística

Las compañías de logística están empleando robots para ayudar a maximizar la eficiencia del tiempo. Estas utilizan robots en los almacenes, en donde los mismos se encargan de sacar los artículos de los estantes, los transportan a través del piso del almacén y los empaquetan. También los utilizan en el envío, manipulación y control de calidad.

Hogar

Otra aplicación que viene agarrando fuerza en los últimos años es la utilización de los robots en nuestras casas. Diferentes usos se pueden dar a los mismos como los son: cortar césped de forma autónoma, limpiar piscinas, aspirar la casa, etc.

Cuidado de la salud

Los robots han avanzado mucho en el área de la salud. Podemos encontrar distintas aplicaciones de los robots en esta área como lo son: cirugías asistidas por robot, robots que ayudan a los humanos a recuperarse de una lesión en la fisioterapia, asistentes de atención médica de Toyota que ayudan a las personas a recuperar la capacidad de caminar, el robot "TUG" diseñado para pasear de manera autónoma por un hospital y entregar desde medicamentos hasta ropa de cama limpia.

8.3. De qué están hechos los robots?

Los robots están contruidos principalmente con materiales comunes. Algunos robots especializados para aplicaciones de sala limpia, el programa espacial u otros proyectos de "alta tecnología" pueden usar metal de titanio y compuestos estructurales de fibras de carbono. El entorno operativo y la resistencia requeridos son factores importantes en la selección de materiales.

El acero, el hierro fundido y el aluminio se usan con mayor frecuencia para los brazos y las bases de los robots. Si el robot es móvil, generalmente los equipan con

neumáticos de goma para un funcionamiento silencioso y un agarre positivo en el piso.

Los robots contienen una cantidad significativa de electrónica y cableado, y algunos son controlados por radio o láser. Los cilindros y otros mecanismos generadores de movimiento contienen aceite hidráulico o aire a presión. Las mangueras de silicona, caucho y acero inoxidable trenzado conectan estos mecanismos a sus válvulas de control.

Para proteger el robot del medio ambiente, algunas áreas expuestas están cubiertas con protectores de neopreno flexibles y fuelles plegables.

Los motores eléctricos y las unidades lineales se compran a proveedores de automatización junto con el controlador o "cerebro". Los controladores están alojados en armarios eléctricos de acero ubicados cerca del área de trabajo del robot o transportados a bordo del propio robot.

8.4. Arquitectura

Algunas de las características comunes en todos los robots son:

- consisten en algún tipo de construcción mecánica que lo ayuda a completar tareas en el entorno para el que está diseñado.
- Controlan y alimentan la maquinaria utilizando componentes eléctricos que le permitan trabajar con corriente eléctrica (o una batería).
- poseen algún nivel de programación informática que le permite le permite saber cuándo y cómo realizar una tarea.

Los robots tienen las siguientes unidades funcionales:

Sensores: miden magnitudes físicas (velocidad, temperatura, humedad) y los transforman en magnitudes eléctricas. Dentro del robot hay dos tipos de sensores: los que se ocupan del estado interno de la máquina y los que se ocupan del entorno. Los sensores equivalen a los sentidos.

Actuadores: reciben las órdenes desde el controlador y efectúan movimientos. Los más habituales son motores, relés o accionadores hidráulicos o neumáticos. Los actuadores equivalen a los músculos.

Estructura: es la que conforma la apariencia del robot, y la que permite realizar sus tareas y soportar los esfuerzos que sufra. La estructura equivale al propio cuerpo.

Alimentación: proporciona la energía para el funcionamiento de todo el sistema. Suelen ser baterías o placas fotovoltaicas, para garantizar autonomía.

Unidad de control: dirige el trabajo de los actuadores. La entrada es la información obtenida de los sensores. La salida está formada por las órdenes eléctricas enviadas a los actuadores (paro/puesta en marcha). La mayor parte de los robots están controlados por ordenadores. La unidad de control equivale al cerebro.

8.5. Espacios de configuración

Crear robots autónomos que acepten una descripción de la tarea que deben realizar y la ejecuten sin la intervención de los humanos es una de las metas de la robótica. Esta desafiante tarea requiere aplicar conocimientos de diferentes áreas como lo son: la percepción, el control y el razonamiento autónomo. Para ello se deben resolver muchos problemas, uno de ellos se encuentra en el área de planeación de movimientos. En donde, se estudia la forma en la cual el robot tenga la habilidad de planear sus propios movimientos utilizando los sensores.

El espacio de configuración, o "C-Space", de un robot es el espacio de posibles posiciones que el robot puede alcanzar. Esta le indica la posición y orientación que el robot puede tomar en el espacio de trabajo.

De manera conceptual, podemos decir que el espacio de trabajo del robot es el espacio de configuraciones que consiste en el conjunto de todas las posiciones y orientaciones que el robot puede tomar. Obtener el espacio de configuraciones es equivalente a que el robot recorra y se posiciones en todos los puntos posibles del espacio de trabajo.

Una vez que se comprende claramente el espacio de configuración, muchos problemas de planificación de movimiento que parecen diferentes en términos de geometría y cinemática pueden resolverse mediante los mismos algoritmos de planificación. Este nivel de abstracción es, por lo tanto, muy importante.

El problema de planeación de movimiento del robot se reduce a encontrar una secuencia de configuraciones y caminos que se encuentren en el espacio libre que le permitan al robot ir desde la configuración inicial hasta la configuración final.

8.6. Navegación y planificación de movimientos

Podemos definir la navegación o desplazamiento como la metodología que permite guiar el curso de un robot móvil a través de un entorno con obstáculos. Existen diversos esquemas, pero todos ellos tienen como objetivo llevar el robot a su destino de forma segura.

Las tareas involucradas en la navegación de un robot son: la percepción del entorno a través de sus sensores, de modo que le permita crear una abstracción del mundo; la planificación de una trayectoria libre de obstáculos, para alcanzar el punto destino

seleccionado; y el guiado del vehículo a través de la referencia construida.

El problema de la navegación se divide en las siguientes cuatro etapas:

Percepción del mundo: creación de un mapa o modelo del entorno donde se desarrollará la tarea de navegación mediante el uso de sensores externos.

Planificación de la ruta: Crea una secuencia ordenada de objetivos o submetas que deben ser alcanzadas por el vehículo. Esta secuencia se calcula utilizando el modelo o mapa de entorno, la descripción de la tarea que debe realizar y algún tipo de procedimiento estratégico.

Generación del camino: primero se define una función continua que interpola la secuencia de objetivos construida por el planificador. Luego se procede a la discretización de la misma a fin de generar el camino.

Seguimiento del camino: se efectúa el desplazamiento del robot, según el camino generado mediante el adecuado control de los actuadores.

A partir de un conjunto de objetivos se realiza la planificación, la cual se representa como una secuencia de puntos cartesianos dispersos que definen la ruta. En donde, dicho conjunto cumple los requisitos de la tarea impuesta asegurándose de que la ruta asociada está libre de obstáculos.

9. VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es un campo de inteligencia artificial que entrena a las computadoras para interpretar y comprender el mundo visual. El objetivo es extraer características de una imagen para su descripción e interpretación por la computadora. Lo que se busca en Visión es obtener descripciones útiles para cada tarea a realizar, en donde, la misma necesitará modificar ciertos atributos que le permita identificar los objetos en la imagen.

El verano del año 1966, Seymour Papert y Marvin Minsky del grupo de Inteligencia Artificial del MIT comenzaron un proyecto titulado Proyecto de Visión de Verano el cual sentó las primeras bases para construir un sistema que fuera capaz de analizar una escena e identificar objetos en ella. En la década de los 70 se avanza un poco más en el área con las contribuciones de David Marr, neurocientífico del MIT, quien establece los componentes básicos de la visión por computadora moderna. Por sus aportes en esta área se le conoce como el padre de la visión por computadora moderna. De igual forma, se establecieron los primeros conceptos de muchos de los algoritmos de visión que se utilizan en la actualidad, algunos de ellos son: el etiquetado de líneas, la representación de objetos como interconexiones de estructuras más pequeñas, el modelado no poliédrico y poliédrico, flujo óptico, la extracción de bordes de imágenes, y estimación del movimiento.

La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados.

9.1. Digitalización

La digitalización es el proceso de convertir información a un formato digital. En el formato digital la información se organiza en unidades de datos discretas (llamadas bits) que se pueden abordar por separado (generalmente en grupos de múltiples

bits llamados bytes). Estos son los datos binarios que las computadoras y muchos dispositivos con capacidad informática como las cámaras digitales pueden procesar.

En la temática que vamos a tratar en esta unidad relacionada con la Visión Artificial nos enfocaremos en la transformación de una imagen analógica a otra digital. Esto constituye el primer paso en cualquier aplicación de procesamiento de imágenes digitales. Para comprender mejor esta etapa de la visión artificial es necesario definir los conceptos de imagen analógica e imagen digital.

- **Imagen analógica (continua):** imagen natural capturada con una cámara, sensor o cualquier otro dispositivo.
- **Imagen digital (discreta):** proyección de la imagen analógica para que pueda ser manipulada usando un ordenador.

Lo primero que debemos hacer para digitalizar las imágenes es el muestreo, en donde, se convierte la imagen en una matriz discreta de $M \times N$ píxeles. Estos píxeles están dispuestos en una cuadrícula regular (o ráster) de filas y columnas, por lo que se suele trabajar como una matriz.

Cada píxel en una imagen en escala de grises (también llamada imagen de intensidad) es un entero sin signo de 8 bits, lo que significa que puede tener un valor entero entre 0 y 255. Un valor de 0 corresponde al tono negro, un valor de 255 a blanco puro. Los valores entre estos extremos producen varios niveles de gris entre blanco y negro.

Una imagen en color también se almacena como una trama de píxeles. Cada píxel ahora está representado por tres valores enteros entre 0 y 255: uno para el rojo, otro para el verde y otro para el azul. Estas tres intensidades primarias se agregan para reproducir un determinado color en la pantalla, y esta forma comúnmente utilizada de representar el color se denomina esquema de color RGB.

El muestreo está relacionado con la resolución espacial de la imagen. La imagen capturada se expresa como una función continua $f(x, y)$ de dos coordenadas en el plano, donde x e y son las coordenadas de un plano que contiene todos los puntos de la imagen, y $f(x, y)$ es la amplitud en el punto (x, y) a la cual se le llama intensidad o nivel de gris de la imagen en ese punto.

En una imagen digital las coordenadas x e y , así como, los valores de intensidad de la función f son discretos y finitos. Si representamos estas funciones gráficamente, se tienen 3 dimensiones: dos que corresponden a las coordenadas de la imagen y la tercera a la función de intensidad. Se deben responder dos preguntas en relación con el muestreo de la función de imagen:

1. Se debe determinar el período de muestreo: la distancia entre dos puntos de muestreo vecinos en la imagen
2. Se debe establecer la disposición geométrica de los puntos de muestreo (cuadrícula de muestreo).

Al muestrear la imagen para obtener una representación digital, hay dos factores importantes que considerar:

- a) El intervalo de muestreo (resolución).
- b) El patrón espacial de los puntos de muestreo.

La digitalización incluye la cuantificación del valor de la función de intensidad y el muestreo de las dos dimensiones espaciales. La cuantificación de la imagen asigna a cada muestra continua un valor entero. El rango continuo de la función de imagen $f(x, y)$ se divide en K intervalos. Cuanto más fino sea el muestreo (es decir, cuanto mayor sea M y N) y la cuantificación (cuanto mayor sea K), mejor será la aproximación de la función de imagen continua $f(x, y)$.

9.2. Procedimiento de bajo nivel

En el procedimiento de bajo nivel se trabaja directamente con las imágenes para extraer propiedades como discontinuidades u orillas, gradiente y profundidad, textura, color, entre otros, de tal forma que sean de mayor utilidad para los siguientes niveles de visión. De esta forma, se obtiene una nueva imagen por cada característica que se extraiga de la imagen original. Para realizar esta tarea, es necesario pasar por distintas etapas de procesamiento y filtrado donde se analiza la imagen y se adecua para cierta aplicación específica.

A veces es necesario mejorar la imagen para resaltar aspectos que sean de nuestro interés, agudizar y/o contrastar determinados aspectos de la imagen, así como también, eliminar aspectos no deseados (también conocidos como ruido). Las mejoras se realizan mediante las técnicas de mejora de la imagen y se debe realizar previo a la obtención de las características de la imagen antes mencionadas.

A continuación, se explica brevemente algunos de los procedimientos de bajo nivel:

Transformaciones de suavizado: es utilizada para suavizar los bordes de una imagen, reducir los picos de ruido o simplemente hacer menos bruscos los cambios de intensidad en la imagen.

Transformaciones de perfilado: realizan la operación contraria al suavizado, es decir, destaca y hace más visibles las variaciones y bordes de la imagen. De esta forma, se mejora la apariencia difuminada de las imágenes.

Detección de bordes: detecta las zonas de cambios bruscos de intensidad y las realza.

9.3. Recuperación de información tridimensional

Cuando se proyecta un objeto del mundo tridimensional (3-D) a una imagen bidimensional (2-D) perdemos información en dicha transformación ya que una línea en 3-D se convierte en un punto en la imagen.

Con la finalidad de recuperar la tercera dimensión que se perdió en el proceso de proyección algunas alternativas se han desarrollado como lo son usar dos imágenes mediante visión estereoscópica, usar propiedades de la imagen como sombreado o textura para obtener un estimado de la profundidad, o al menos de la profundidad relativa (gradiente). También se puede utilizar información de una secuencia de imágenes (forma de movimiento).

Visión estereoscópica: se utilizan dos o más cámaras para determinar la geometría de la escena. Estas cámaras deben estar colocadas en posiciones distintas y a una distancia conocida para obtener dos imágenes de cada punto de donde se pueda recuperar su posición en 3-D. Luego de identificar los puntos correspondientes, se utiliza la triangulación para determinar las dos líneas en 3D en las que está el punto. Después, se intersecan las líneas para obtener el punto en 3D.

Forma de sombreado: se trata de obtener información de profundidad (3-D) a partir de los cambios de intensidad o sombreado del objeto. Este es un problema complejo ya que existen múltiples soluciones. Se han propuesto diversos algoritmos para lograr una solución única. En general, a estos algoritmos se les puede ubicar en alguna de las tres categorías siguientes:

- Uso de múltiples fuentes de iluminación (estéreo fotométrico)
- Uso de restricciones entre elementos (relajación)
- Uso de información local (algoritmo diferencial)

Forma de Textura: nos permite determinar el gradiente o profundidad relativa de una superficie. Para obtener el gradiente a partir de textura se puede usar alguna de las siguientes técnicas:

- Razón de cambio máximo de las primitivas de textura
- Forma del elemento de textura
- Puntos de desvanecimiento

9.4. Algoritmo de Waltz

El algoritmo de filtrado de Waltz analiza dibujos lineales asignando una etiqueta a cada uno de los bordes. La etiqueta de línea se selecciona de un conjunto finito de posibles etiquetas. Cada etiqueta proporciona información semántica específica sobre la naturaleza del borde y las regiones en cada uno de sus lados.

Waltz propuso inicialmente el algoritmo de filtrado como una forma de reducir la combinatoria asociada con el etiquetado lineal de escenas tridimensionales. El algoritmo popularizó la técnica de propagación de restricciones y se conoce como Algoritmo de filtrado de Waltz. Este algoritmo reduce sustancialmente la búsqueda al podar el espacio de búsqueda desde el principio utilizando restricciones específicas del dominio.

Para el problema del etiquetado de líneas, el espacio de búsqueda contiene todas las combinaciones posibles de etiquetas de línea potenciales para una escena. Para las escenas complicadas, este espacio de búsqueda puede ser bastante enorme. Waltz descubrió que el filtrado puede eliminar un espacio de búsqueda y, a menudo, eliminar la necesidad de búsqueda en total.

El algoritmo de filtrado de Waltz se implementó originalmente en Micro-Planner y Lisp.

9.5. Visión activa

Consiste en la elaboración de estrategias de control para ajustar los parámetros de entrada con la finalidad de mejorar el conocimiento que se tiene del entorno. Algunas estrategias que pueden aplicarse para desarrollar un sistema de visión activa son:

Control de los parámetros del sistema de visión: utilizado para adaptar las imágenes a la tarea que se va a realizar. El objetivo es adquirir múltiples vistas de la escena y extraer de cada una pocas características con algoritmos simples mediante el control de ciertos parámetros como pueden ser: la resolución y las condiciones de iluminación, el ángulo de vergencia, el zoom, el foco y apertura de la lente, el movimiento y posición de la cámara.

Reducción selectiva mediante mecanismos atencionales: se enfoca en obtener la información relevante para cada una de las tareas visuales que se deben realizar. Determinar qué parte de la información es la de utilidad y cuál se puede obviar para cada tarea constituye el mayor desafío para utilizar esta estrategia.

Reducción selectiva mediante sensores con resolución variante en espacio: efectúan una reducción selectiva en espacio, resolución y tiempo. Esto les permite discriminar entre los datos contenidos en las imágenes de resolución uniforme para obtener la información relevante para efectuar una actividad.

9.6. Reconocimiento de objetos y escenas, y descripción de imágenes

Para reconocer los objetos cuya descripción se ha obtenido de la imagen se utiliza la visión basada en modelos. Este reconocimiento se logra mediante la utilización de una serie de modelos geométricos predefinidos.

Los componentes principales de la visión basada en modelos son:

Extracción de características: consiste en la obtención de información de forma de la imagen para construir una descripción geométrica.

Modelado: es la construcción de los modelos geométricos internos de los objetos de interés.

Correspondencia: es el apareamiento geométrico de la descripción con el modelo interno.

Tipos principales de sistemas basados en modelos:

Modelos en dos dimensiones (2-D): utilizan modelos geométricos en 2-D para modelar y reconocer objetos en dos dimensiones. Se puede representar objetos en base a contornos y regiones. En los contornos el objeto se representa en base a su borde o contorno mientras que en las regiones el objeto se representa en base a la región que el objeto define.

Modelos en tres dimensiones (3-D): utilizan una representación tridimensional de los objetos. Se asume que los objetos son sólidos y rígidos. Se puede representar objetos mediante modelos basados en la superficie del objeto o en base en una representación volumétrica del sólido. Algunos modelos utilizados son: poliedros planos, cilindros generalizados, geometría sólida constructiva.

Para llevar a cabo el reconocimiento es necesario realizar una interpretación de los datos de entrada mediante el establecimiento de una correspondencia (match) entre los atributos obtenidos de la(s) imagen(es) a través de los procesos antes explicados y los modelos representados en la computadora. Las técnicas para correspondencia dependen del tipo de representación y las podemos dividir en:

Reconocimiento estadístico de patrones: busca dentro de un espacio paramétrico, la clase (modelo) más cercana a la descripción del objeto en la imagen. Cuando un objeto es desconocido se debe encontrar a que grupo (clase) pertenece partiendo de los parámetros dados.

Optimización paramétrica: buscan la correspondencia entre modelos paramétricos y representaciones de bajo nivel (por ejemplo, encontrar la correspondencia entre una serie de orillas y una curva).

Algoritmos basados en teoría de gráficas: cuando tenemos una representación relacional, tanto de los modelos internos como de la descripción de la imagen podemos aplicar los algoritmos basados en teoría de grafos. Se considera que tanto de los modelos internos como de la descripción de la imagen están representadas en forma de un grafo (nodos y relaciones). Encontrar la correspondencia entre dichos grafos, desde el punto de vista de la teoría de grafos, se refiere al problema de isomorfismo entre grafos. Este consiste en encontrar una relación 1:1 entre arcos y nodos de ambos grafos, considerando que no están etiquetados.

10. LENGUAJE NATURAL

El procesamiento del lenguaje natural (PNL) es un método de la Inteligencia Artificial para comunicarse con sistemas inteligentes que utilizan un lenguaje natural. Este implica hacer que las computadoras realicen tareas útiles con los lenguajes naturales que usan los humanos. La entrada y salida de un sistema PNL puede ser el habla o el texto escrito.

La investigación sobre PNL comenzó a principios de la década de 1950 después de la investigación de Booth & Richens y el memorándum de Weaver sobre traducción automática en 1949.

1954 fue el año en que se demostró un experimento limitado sobre traducción automática del ruso al inglés en el experimento Georgetown-IBM. En el mismo año, comenzó la publicación de la revista MT (Machine Translation). La primera conferencia internacional sobre traducción automática (MT) se celebró en 1952 y la segunda en 1956.

En 1961, el trabajo presentado en la Conferencia Internacional de Teddington sobre traducción automática de idiomas y análisis de idiomas aplicados fue el punto culminante de esta fase. A principios de 1961, el trabajo comenzó sobre los problemas de abordar y construir datos o bases de conocimiento. Este trabajo fue influenciado por la IA. En el mismo año, también se desarrolló un sistema de preguntas y respuestas de BÉISBOL. La entrada a este sistema estaba restringida y el procesamiento del lenguaje involucrado era simple.

Un sistema muy avanzado fue descrito en Minsky (1968). Este sistema, en comparación con el sistema de preguntas y respuestas de BÉISBOL, fue reconocido y proporcionó la necesidad de inferencia en la base de conocimiento para interpretar y responder a la entrada del lenguaje.

El enfoque gramatical-lógico, hacia el final de la década, ayudó con poderosos procesadores de oraciones de propósito general como el Motor del lenguaje central de SRI y la Teoría de la representación del discurso, que ofreció un medio para abordar un discurso más extenso.

El trabajo sobre el léxico en la década de 1980 también apuntó en la dirección del enfoque gramatical lógico. Podemos describir esto como una fase léxica y corpus. La fase tuvo un enfoque lexicalizado de la gramática que apareció a fines de la década de 1980 y se convirtió en una influencia creciente. Hubo una revolución en el procesamiento del lenguaje natural en esta década con la introducción de algoritmos de aprendizaje automático para el procesamiento del lenguaje.

10.1. Procesamiento de señales

El lenguaje natural pretende conseguir que una máquina comprenda lo que expresa una persona mediante el uso de una lengua natural. Las lenguas naturales o idiomas están basados usualmente en un sistema de signos a los cuales les denominaremos símbolos categóricos.

Los símbolos categóricos de un idioma pueden codificarse como una señal de comunicación de varias maneras: sonido, gesto, escritura, imágenes, etc. En el lenguaje humano se puede usar cualquiera de estos.

El procesamiento de señales toma las palabras habladas como entrada y las convierte en texto. En este proceso se debe primero limpiar los datos de texto no estructurados mediante la tokenización de palabras.

La tokenización es una de las tareas más comunes cuando se trata de trabajar con datos de texto. Esta consiste esencialmente en dividir una frase, oración, párrafo o un documento de texto completo en unidades más pequeñas, como palabras o términos individuales. Cada una de estas unidades más pequeñas se llaman tokens.

Los tokens pueden ser palabras, números o signos de puntuación. En la tokenización, las unidades más pequeñas se crean al ubicar los límites de las palabras. Estos son el punto final de una palabra y el comienzo de la siguiente palabra. Estos tokens se consideran como un primer paso para la derivación y la lematización.

Antes de procesar un lenguaje natural, necesitamos identificar las palabras que constituyen una cadena de caracteres. Es por eso que la tokenización es el paso más básico para proceder con datos de texto en PNL. Esto es importante porque el significado del texto podría interpretarse fácilmente analizando las palabras presentes en el texto.

10.2. Sintaxis y análisis gramatical

Las palabras son comúnmente aceptadas como las unidades más pequeñas de sintaxis. La sintaxis se refiere a los principios y reglas que rigen la estructura de las oraciones de cualquier idioma individual. Se centra en el orden adecuado de las palabras que pueden afectar su significado. Esto implica el análisis de las palabras en una oración siguiendo la estructura gramatical de la oración. Las palabras se transforman en la estructura para mostrar cómo se relacionan las palabras entre sí.

Procesar una oración sintácticamente implica determinar el sujeto y el predicado y el lugar de los sustantivos, verbos, pronombres, etc. Dado un léxico que le dice a la computadora la parte del discurso de una palabra, la computadora podría leer la frase de entrada palabra por palabra y al final producir una descripción estructural. Sin embargo, podemos encontrar algunos problemas debido a que una palabra puede funcionar como diferentes partes del discurso en diferentes contextos (a veces un sustantivo, a veces un verbo, por ejemplo). También, puede haber varias interpretaciones posibles de la estructura de una oración. En este caso surge la interrogante: ¿Cómo vamos a decidir cuál es el análisis correcto?. Otra dificultad se

debe a que al buscar la interpretación de una oración puede haber diferentes maneras de hacerlo.

Para implementar la tarea de análisis se utiliza el analizador, el cual es el componente de software diseñado para tomar datos de entrada (texto) y dar una representación estructural de la entrada después de verificar la sintaxis correcta según la gramática formal. También se construye una estructura de datos generalmente en forma de árbol de análisis o árbol de sintaxis abstracta u otra estructura jerárquica.

En las aplicaciones de análisis del lenguaje natural se utilizan las gramáticas de estructura de frase debido a que se caracterizan por aportar una especificación formal de una lengua, lo cual las hace aptas para ser implementadas mediante algoritmos computacionales. El analizador lo constituye el conjunto de reglas implementadas con el algoritmo que las ejecuta.

Para obtener la cadena de entrada, necesitamos una secuencia de reglas de producción. A este conjunto de reglas de producción se le conoce como derivación. La derivación divide el análisis en los siguientes dos tipos:

Análisis de arriba hacia abajo: el analizador comienza a construir el árbol de análisis a partir del símbolo de inicio y luego intenta transformar el símbolo de inicio en la entrada. La forma más común de este análisis utiliza un procedimiento recursivo para procesar la entrada. La principal desventaja del análisis de descenso recursivo es el retroceso.

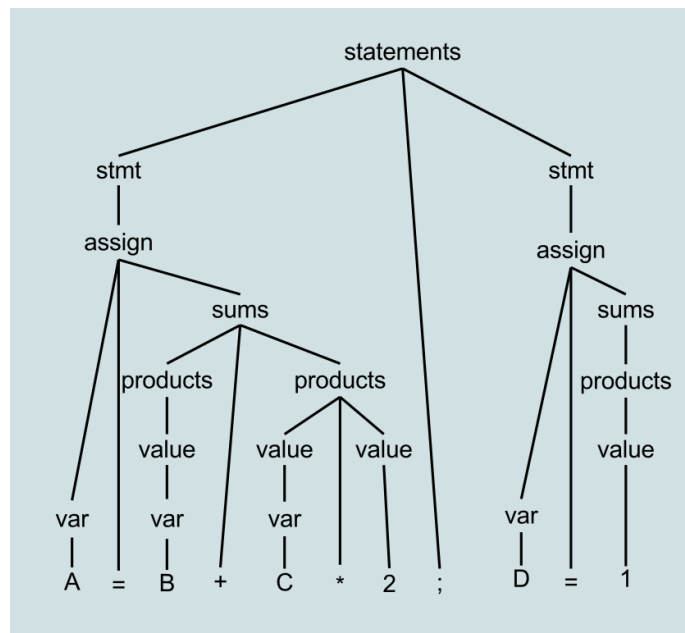
Análisis de abajo hacia arriba: el analizador comienza con el símbolo de entrada e intenta construir el árbol del analizador hasta el símbolo de inicio.

Durante el análisis, debemos decidir el no terminal, que se reemplazará junto con la decisión de la regla de producción con la ayuda de la cual se reemplazará el no

terminal. Para decidir qué no terminal se reemplazará con la regla de producción se pueden usar dos tipos de derivaciones:

Derivación más a la izquierda: en donde, la forma oracional de una entrada se escanea y se reemplaza de izquierda a derecha. La forma sentencial en este caso se llama forma sentencial izquierda.

Derivación más a la derecha: en donde, se escanea la forma oracional de una entrada y se reemplaza de derecha a izquierda. La forma sentencial en este caso se llama forma sentenciosa derecha.



La derivación se puede representar gráficamente mediante el árbol de análisis. El símbolo de inicio de derivación sirve como la raíz del árbol de análisis. En cada árbol de análisis, los nodos hoja son terminales y los nodos interiores son no terminales. Una propiedad del árbol de análisis es que el recorrido en orden producirá la cadena de entrada original.

10.3. Semántica y significado

El análisis semántico es una estructura creada por el analizador sintáctico que asigna significados. Este componente transfiere secuencias lineales de palabras en estructuras y muestra cómo se asocian las palabras entre sí.

La semántica se enfoca solo en el significado literal de palabras, frases y oraciones. Esto solo abstrae el significado del diccionario o el significado real del contexto dado. Las estructuras asignadas por el analizador sintáctico siempre tienen un significado asignado.

El análisis semántico trata el significado de palabras y oraciones, las formas en que las palabras y oraciones se refieren a elementos en el mundo. El "significado" en estas discusiones generalmente se asocia con la semántica, pero en otros contextos he visto la sintaxis asociada con el "significado sintáctico".

El análisis semántico extrae el significado exacto o el significado del diccionario del texto y verifica el significado del texto. Se realiza mediante el mapeo de estructuras sintácticas y objetos en el dominio de la tarea. Esta primera parte del análisis semántico que estudia el significado de palabras individuales se llama semántica léxica. Incluye palabras, subpalabras, afijos (subunidades), palabras compuestas y frases. Se denominan colectivamente elementos léxicos a todas las palabras, subpalabras, etc. En otras palabras, podemos decir que la semántica léxica es la relación entre los elementos léxicos, el significado de las oraciones y la sintaxis de la oración.

Los siguientes son los pasos involucrados en la semántica léxica:

- La clasificación de elementos léxicos como palabras, subpalabras, afijos, etc. se realiza en semántica léxica.

- La descomposición de elementos léxicos como palabras, subpalabras, afijos, etc. se realiza en semántica léxica.
- También se analizan las diferencias y similitudes entre varias estructuras semánticas léxicas.

Los siguientes son algunos elementos importantes del análisis semántico:

Hiponimia

es la relación entre un término genérico y las instancias de ese término genérico. Aquí el término genérico se llama hiperónimo y sus instancias se llaman hipónimos. Por ejemplo, la palabra color es hiperónimo y el color azul, amarillo, etc. son hipónimos.

Homonimia

Son las palabras que tienen la misma ortografía o la misma forma pero que tienen un significado diferente y no relacionado. Por ejemplo, la palabra "Murciélago" es una palabra de homonimia porque el murciélago puede ser un implemento para golpear una pelota o el murciélago también es un mamífero volador nocturno.

Polisemia

es una palabra griega, que significa "muchos signos". Es una palabra o frase con sentido diferente pero relacionado. En otras palabras, podemos decir que la polisemia tiene la misma ortografía, pero un significado diferente y relacionado. Por ejemplo, la palabra "banco" es una palabra de polisemia que tiene los siguientes significados:

- Una institución financiera.
- Asiento que puede ser usado por varias personas a la vez.
- Conjunto de peces
- Conjunto de peces

El análisis semántico crea una representación del significado de una oración para eso utiliza los siguientes bloques de construcción del sistema semántico:

Entidades: representa al individuo, como una persona en particular, ubicación, etc. Por ejemplo, Haryana. India, Ram, todas son entidades.

Conceptos: representa la categoría general de los individuos, como una persona, ciudad, etc.

Relaciones: Representa la relación entre entidades y concepto. Por ejemplo, Raúl es una persona.

Predicados: representa las estructuras verbales. Por ejemplo, los roles semánticos y la gramática de casos son ejemplos de predicados.

Ahora, podemos entender que la representación del significado muestra cómo armar los bloques de construcción de los sistemas semánticos. En otras palabras, muestra cómo agrupar entidades, conceptos, relaciones y predicados para describir una situación. También permite el razonamiento sobre el mundo semántico.

El análisis semántico utiliza los siguientes enfoques para la representación del significado:

- Lógica de predicado de primer orden (FOPL)
- Redes Semánticas
- Marcos
- Dependencia conceptual (CD)
- Arquitectura basada en reglas
- Gramática de casos
- Gráficos conceptuales

10.4. Pragmática

El análisis pragmático es parte del proceso de extracción de información del texto. Específicamente, es la parte que se enfoca en tomar un conjunto de estructuras de texto y descubrir cuál era el significado real. Incorpora, así mismo, información sobre las relaciones que se dan entre los hechos que forman el contexto y entre diferentes entidades.

Además, añade información adicional al análisis del significado de la frase en función del contexto donde aparece. Se trata de uno de los niveles de análisis más complejos, la finalidad es incorporar al análisis semántico la aportación significativa que pueden hacer los participantes, la evolución del discurso o información presupuesta.

La ambigüedad léxica, sintáctica o semántica, es uno de los primeros problemas que enfrenta cualquier sistema de PNL. Los etiquetadores de parte del discurso (Part-of-speech – POS, en inglés) con un alto nivel de precisión pueden resolver la ambigüedad sintáctica de la palabra. Por otro lado, el problema de resolver la ambigüedad semántica se llama desambiguación del sentido de las palabras (Word Sense Disambiguation – WSD en inglés). Resolver la ambigüedad semántica es más difícil que resolver la ambigüedad sintáctica.

La capacidad de determinar qué significado de la palabra se activa mediante el uso de la palabra en un contexto particular se le denomina desambiguación. Asociar las palabras en contexto con su entrada más adecuada en un inventario de sentidos predefinido es la tarea de la Desambiguación del sentido de las palabras. El inventario de sentido de facto para inglés en WSD es WordNet. Por ejemplo, si usamos la palabra "mouse" en la siguiente oración: *"Un mouse consiste en un objeto sostenido en una mano, con uno o más botones"* asignaríamos "mouse" con su sentido de dispositivo electrónico (el 4to sentido en el inventario de sentidos de WordNet).

La evaluación de WSD requiere las siguientes dos entradas:

- Un diccionario: la primera entrada para la evaluación de WSD es el diccionario, que se utiliza para especificar los sentidos a ser desambiguados.
- Test Corpus: otra entrada requerida por WSD es el corpus de prueba de alta anotación que tiene el objetivo o los sentidos correctos. Los corpus de prueba pueden ser de dos tipos:
 - **Muestra léxica:** este tipo de corpus se utiliza en el sistema, donde se requiere desambiguar una pequeña muestra de palabras.
 - **Todas las palabras:** este tipo de corpus se usa en el sistema, donde se espera que desambigüe todas las palabras en un texto en ejecución.

Métodos convencionales para WSD:

Métodos basados en diccionario o basados en conocimiento

estos métodos se basan principalmente en diccionarios, tesoros y bases de conocimiento léxico. No utilizan evidencias corporales para la desambiguación. El método de Lesk es el método seminal basado en el diccionario introducido por Michael Lesk en 1986. La definición de Lesk, en la que se basa el algoritmo de Lesk, es "medir la superposición entre definiciones de sentido para todas las palabras en contexto". Sin embargo, en 2000, Kilgarriff y Rosensweig dieron la definición simplificada de Lesk como "superposición de medidas entre las definiciones de sentido de la palabra y el contexto actual", lo que significa además identificar el sentido correcto para una palabra a la vez. Aquí el contexto actual es el conjunto de palabras en la oración o párrafo circundante.

Métodos supervisados

Para la desambiguación, los métodos de aprendizaje automático utilizan cuerpos anotados con sentido para entrenar. Estos métodos suponen que el contexto puede proporcionar evidencia suficiente por sí solo para desambiguar el sentido. En estos métodos, las palabras conocimiento y razonamiento se consideran innecesarias. El contexto se representa como un conjunto de "características" de las palabras. Incluye la información sobre las palabras circundantes también. La máquina de vectores de soporte y el aprendizaje basado en la memoria son los enfoques de aprendizaje supervisado más exitosos para WSD. Estos métodos dependen de una cantidad sustancial de corpus etiquetados manualmente, lo cual es muy costoso de crear.

Métodos semi-supervisados

Debido a la falta de corpus de entrenamiento, la mayoría de los algoritmos de desambiguación de sentido de las palabras utilizan métodos de aprendizaje semi-supervisados. Esto se debe a que los métodos semi-supervisados utilizan tanto datos etiquetados como no etiquetados. Estos métodos requieren una cantidad muy pequeña de texto anotado y una gran cantidad de texto sin anotar. La técnica utilizada por los métodos semi-supervisados es el arranque a partir de datos de semillas.

Métodos sin supervisión

Estos métodos suponen que se producen sentidos similares en un contexto similar. Es por eso, que los sentidos pueden ser inducidos a partir del texto al agrupar las ocurrencias de palabras usando alguna medida de similitud del contexto. Esta tarea se llama inducción de sentido de palabra o discriminación. Los métodos no supervisados tienen un gran potencial para superar el cuello de botella de adquisición de conocimiento debido a la no dependencia de los esfuerzos manuales.

10.5. Generación de Lenguaje Natural

Es el proceso de producir frases y oraciones significativas en forma de lenguaje natural a partir de alguna representación interna. Este proceso implica tres pasos:

Planificación de texto: incluye la recuperación del contenido relevante de la base de conocimiento.

Planificación de oraciones: incluye elegir las palabras requeridas, formar frases significativas y establecer el tono de la oración.

Realización de texto: está mapeando el plan de oración en la estructura de la oración.

El generador de lenguaje natural ayuda a la máquina a clasificar a través de muchas variables para que los datos sean comprensibles y busca automatizar la escritura de narrativas basadas en dichos datos. Su objetivo es crear sistemas informáticos capaces de producir por sí mismos textos con sentido para el ser humano.

Son capaces de generar automáticamente narrativas que describen, resumen o explican los datos estructurados de entrada de manera humana a la velocidad de miles de páginas por segundo.

Existen dos enfoques principales para la generación de lenguaje: el uso de plantillas y la creación dinámica de documentos. Si bien solo se considera que este último es NLG "real", hubo una forma larga y de varias etapas de plantillas básicas y directas a lo más avanzado y cada nuevo enfoque amplió la funcionalidad y las capacidades lingüísticas adicionales:

La generación de lenguaje natural se basa en una serie de algoritmos que abordan ciertos problemas de creación de textos similares a los humanos:

Cadena de Markov: fue uno de los primeros algoritmos utilizados para la generación del lenguaje. Este modelo predice la siguiente palabra en la oración usando la palabra actual y considerando la relación entre cada palabra única para calcular la probabilidad de la siguiente palabra. De hecho, los ha visto mucho en versiones anteriores del teclado del teléfono inteligente, donde se utilizaron para generar sugerencias para la siguiente palabra en la oración.

Red neuronal recurrente (RNN): son modelos que intentan imitar el funcionamiento del cerebro humano. Los RNN pasan cada elemento de la secuencia a través de una red de alimentación directa y utilizan la salida del modelo como entrada para el siguiente elemento de la secuencia, lo que permite almacenar la información del paso anterior. En cada iteración, el modelo almacena las palabras anteriores encontradas en su memoria y calcula la probabilidad de la siguiente palabra. Para cada palabra en el diccionario, el modelo asigna una probabilidad basada en la palabra anterior, selecciona la palabra con la probabilidad más alta y la almacena en la memoria. La "memoria" de RNN hace que este modelo sea ideal para la generación de lenguaje porque puede recordar el fondo de la conversación en cualquier momento. Sin embargo, a medida que aumenta la longitud de la secuencia, los RNN no pueden almacenar palabras que se encontraron de forma remota en la oración y hace predicciones basadas solo en la palabra más reciente. Debido a esta limitación, los RNN no pueden producir oraciones largas coherentes.

LSTM: para abordar el problema de las dependencias de largo alcance, se introdujo una variante de RNN llamada Long long-term memory (LSTM). Aunque similar a RNN, los modelos LSTM incluyen una red neuronal de cuatro capas. El LSTM consta de cuatro partes: la unidad, la puerta de entrada, la puerta de salida y la puerta olvidada. Estos permiten que el RNN recuerde u olvide palabras en cualquier intervalo de tiempo ajustando el flujo de información de la unidad. Cuando se encuentra un punto, la puerta olvidada reconoce que el contexto de la oración puede cambiar y puede ignorar la información del estado de la unidad actual. Esto permite

que la red rastree selectivamente solo información relevante mientras minimiza el problema de gradiente que desaparece, lo que permite que el modelo recuerde información durante un período más largo.

Aún así, la capacidad de la memoria LSTM está limitada a unos cientos de palabras debido a sus rutas secuenciales inherentemente complejas desde la unidad anterior a la unidad actual. La misma complejidad resulta en requisitos computacionales altos que hacen que LSTM sea difícil de entrenar o paralelizar.

Transformador: un modelo relativamente nuevo se introdujo por primera vez en el documento de Google de 2017 "La atención es todo lo que necesita", que propuso un nuevo método llamado "mecanismo de auto atención". El transformador consiste en una pila de codificadores para procesar entradas de cualquier longitud y otro conjunto de decodificadores para generar las oraciones generadas. A diferencia de LSTM, el Transformador realiza solo un número pequeño y constante de pasos, mientras aplica un mecanismo de auto atención que simula directamente la relación entre todas las palabras en una oración. A diferencia de los modelos anteriores, el Transformador utiliza la representación de todas las palabras en contexto sin tener que comprimir toda la información en una única representación de longitud fija que le permite al sistema manejar oraciones más largas sin que se disparen los requisitos computacionales.

Uno de los ejemplos más famosos del Transformador para la generación de lenguaje es OpenAI, su modelo de lenguaje GPT-2. El modelo aprende a predecir la siguiente palabra en una oración al enfocarse en las palabras que se vieron previamente en el modelo y que están relacionadas con la predicción de la siguiente palabra. Una actualización más reciente de Google, la representación del codificador bidireccional Transformers (BERT), proporciona los resultados más avanzados para diversas tareas de PNL.

ANEXO 1

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #1

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Llene los espacios.

1. La _____ es la capacidad de aprender, comprender y emitir juicios basados en la razón.

2. Mencione tres técnicas en las que se basa el estudio de la Inteligencia Artificial:
_____, _____ y _____.

3. Algunas áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial son:
_____, _____ y _____.

4. _____, _____ y _____ son algunas de las disciplinas que han contribuido al desarrollo de la Inteligencia Artificial.

5. El _____ es un enfoque de la IA basado en la combinación de símbolos y reglas para el procesamiento de información y la resolución de problemas.

II Parte. Desarrollo.

1. ¿Qué es la Inteligencia Artificial?

2. Mencione dos áreas de investigación de la Inteligencia Artificial.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #2

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Cierto (C) y falso (F).

1. ____ El objetivo de la IA es imitar las habilidades cognitivas del ser humano.
2. ____ John Von Neumann y Alan Turing desarrollaron el primer modelo matemático e informático de una neurona biológica.
3. ____ George Boole desarrolló un álgebra para representar el conocimiento.
4. ____ La Conferencia de Dartmouth tuvo lugar en Estados Unidos en 1959.
5. ____ Deviatan y Tecnoidea son compañías de Inteligencia Artificial.
6. ____ Claude Shannon es considerado el fundador de la Inteligencia Artificial.
7. ____ IBM desarrolló el sistema experto Deep Blue.
8. ____ El acceso a grandes volúmenes de datos fue uno de los factores que le dio auge a la IA.
9. ____ En 1970 se da la llegada de los primeros microprocesadores, lo que impulsa el desarrollo de la IA.
10. ____ Marvin Minsky es considerado el fundador de la teoría de información.

II Parte. Desarrollo.

1. Mencione tres participantes de la Conferencia de Dartmouth y un aporte de dos de ellos.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #3

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Llene los espacios.

1. Las técnicas de búsqueda se clasifican en dos grandes grupos:
_____ y _____.

2. La búsqueda primero en _____ se implementa utilizando la estructura de datos llamada pilas.

3. La búsqueda en _____ es una variante de la búsqueda primero en anchura.

4. Las propiedades de los algoritmos de búsqueda son:
_____, _____,
_____ y _____.

5. Tres elementos que componen a muchos de los problemas que la IA busca solucionar son:
_____, _____,
_____ y _____.

II Parte. Desarrollo.

1. Mencione los componentes de la definición formal de juego.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #4

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Llene los espacios.

1. Los componentes de un sistema de producción son:
_____, _____ y
_____.

2. Los dos elementos en los que se basa el formalismo de los sistemas de producción son: _____ y
_____.

3. Los elementos que definen a un problema de búsqueda en espacio de estados son: _____ y
_____.

II Parte. Desarrollo.

1. Mencione los tres grandes pasos que siguen los agentes para resolver problemas.

2. Mencione los tipos de razonamiento que se utilizan en los sistemas de producción y el tipo de control de búsqueda que utiliza cada uno.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #5

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Cierto (C) y falso (F).

1. ____ Una representación del conocimiento es un conjunto de conclusiones que describen una clase de cosas.
2. ____ Un buen generador se caracteriza por ser completo, redundante e informado.
3. ____ Las reglas dentro de un sistema basado en reglas representan conocimiento.
4. ____ Las plantillas se componen de ranuras y rellenos.
5. ____ El sentido común es un tipo de conocimiento fácil de dominar para las computadoras.
6. ____ En un árbol de objetivos, el objetivo de tipo AND indica que uno de los objetivos debe satisfacerse.
7. ____ La herencia es una propiedad de las redes semánticas.
8. ____ En un árbol de objetivos, el objetivo de tipo OR indica que todos los objetivos deben satisfacerse.

II Parte. Desarrollo.

1. Mencione las cuatro partes fundamentales de toda representación del conocimiento.
2. Mencione los tres tipos de relaciones que pueden existir en la estructura de una red semántica.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #6

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Llene los espacios.

1. Las propiedades de un agente inteligente son:
_____, _____,
_____ y _____.

2. Los elementos que componen la estructura de una agente inteligente son:
_____ y _____.

3. Mencione dos tipos de agentes inteligentes:
_____ y _____.

4. Dispositivo de un agente inteligente que convierte comandos en acciones:
_____.

5. Dispositivo de un agente inteligente que recibe estímulos del ambiente y los convierte en percepciones: _____.

II Parte. Desarrollo.

1. ¿Qué es un agente?
2. Menciones tres lenguajes de programación orientados a agentes.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #7

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Llene los espacios.

1. Mencione tres componentes de un sistema experto:
_____, _____ y _____.

2. Las tareas necesarias para la adquisición del conocimiento son:
_____, _____,
_____ y _____.

3. Dos ejemplos de sistemas expertos son: _____ y _____.

4. Una de las restricciones que solucionan las bases de conocimiento muy grandes es: _____.

II Parte. Desarrollo.

1. ¿Qué es un sistema experto?
2. Menciones tres ventajas de los sistemas expertos.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #8

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto

Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Llene los espacios.

1. Mencione tres tipos de robots: _____,
_____ y _____.

2. Las unidades funcionales de la arquitectura de un robot son:
_____, _____,
_____, _____ y
_____.

3. El _____ es el espacio de las posibles posiciones que el robot puede alcanzar.

II Parte. Desarrollo.

1. ¿Qué es la robótica?
2. Mencione las etapas involucradas en la navegación de un robot.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #9

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto

Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Cierto (C) y falso (F).

1. ____ La imagen digital es aquella imagen natural capturada con una cámara, sensor o cualquier otro dispositivo.
2. ____ Los poliedros planos son modelos utilizados en los modelos 3-D.
3. ____ Dos procedimientos de bajo nivel son la detección de bordes y las transformaciones de perfilado.
4. ____ El proceso de convertir información a un formato digital se denomina digitalización.
5. ____ El algoritmo de Waltz analiza dibujos lineales y le asigna una etiqueta a cada uno de los bordes.
6. ____ La visión artificial consiste en entrenar a las computadoras para interpretar y comprender el mundo visual.
7. ____ Un píxel con un valor de 0 corresponde a un tono blanco puro.
8. ____ Cada píxel en una imagen de escala de grises es un entero con signo de 8 bits.

II Parte. Desarrollo.

1. Mencione las tres estrategias para la recuperación de información tridimensional.
2. Mencione los procesos destinados a realizar el análisis de imágenes.

Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Inteligencia Artificial

Prueba #10

Nombre: _____ Cédula: _____ Grupo: _____

Profesor: Dr. Carlos A. Rovetto Puntos Obtenidos: _____ /

I Parte. Cierto (C) y falso (F).

1. ____ La tokenización consiste en dividir una frase, oración, párrafo o documento de texto en unidades más pequeñas.
2. ____ Las redes semánticas y la lógica de predicado de primer orden son enfoques para la representación del significado.
3. ____ Dos elementos importantes en el análisis semántico son la polisemia y la homonimia.
4. ____ La sintaxis se enfoca en el significado de palabras, frases y oraciones.
5. ____ Los bloques de construcción que se utilizan en el análisis semántico son las entidades, los conceptos, las relaciones y los predicados.
6. ____ La semántica se enfoca en tomar un conjunto de estructuras de texto y descubrir su significado real.
7. ____ Uno de los problemas que enfrenta cualquier sistema de PNL es la ambigüedad léxica.

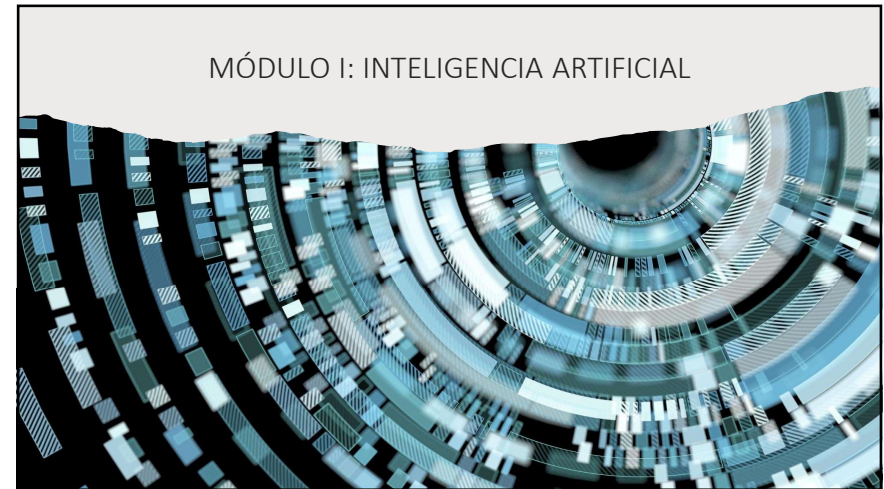
II Parte. Desarrollo.

1. ¿Qué es el procesamiento del lenguaje natural?
2. Mencione los pasos necesarios para la generación de lenguaje natural.

ANEXO 2



1



2



3



4



Ciencia Cognoscitiva

Esta ciencia tiene ideas teóricas unificadoras, sin embargo, es importante apreciar la diversidad de perspectivas y métodos que los investigadores de diferentes campos aportan al estudio de la mente y la inteligencia.

Es bueno destacar que aunque los psicólogos cognitivos de hoy en día a menudo se dedican a teorizar y modelar computacionalmente, su método principal es la experimentación con participantes humanos.

5

Introducción a la Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial utiliza diferentes enfoques para encontrar soluciones a distintos problemas de la vida real algunos de ellos son: procesamiento simbólico, heurísticas, reconocimiento de patrones, entre otros. En esta sección se presentan las definiciones de estos enfoques.

Procesamiento Simbólico

- En el procesamiento simbólico se utilizan los símbolos combinados con reglas generales para procesar información y resolver problemas



6

Heurística



La idea de los métodos heurísticos en IA se basa en la ciencia cognitiva o el estudio de cómo piensan los humanos. El objetivo de un algoritmo heurístico es aplicar un enfoque de regla general para producir una solución en un marco de tiempo razonable que sea lo suficientemente bueno para resolver el problema en cuestión.

A menudo nos referimos a la solución como "suficientemente buena" en la mayoría de los casos. El método empleado no garantiza que sea óptimo pero es suficiente para lograr los objetivos inmediatos.

7

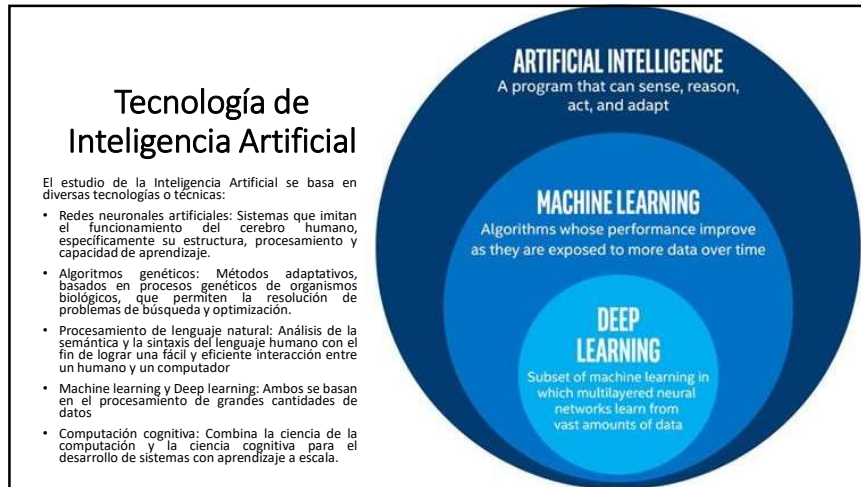
Comparación de Patrones

La comparación de patrones o reconocimiento de patrones es el reconocimiento automático de patrones y regularidades en los datos mediante el uso de algoritmos informáticos.

Estas regularidades se usan para realizar distintas tareas como por ejemplo clasificar los datos en diferentes categorías, predecir tendencias, configuraciones particulares de características en imágenes que identifican objetos, combinaciones frecuentes de palabras y frases para el procesamiento de lenguaje natural (PNL), entre otros.



8



9

Áreas en Inteligencia Artificial

En esta sección se presentan las distintas áreas en las que se realizan investigaciones y se aplica la Inteligencia Artificial. Es preciso indicar que en algunos de estos casos se pueden repetir estas áreas en investigación y aplicación dado que están directamente relacionado.

Áreas de investigación

- La investigación asociada con la inteligencia artificial es muy especializada y se desarrolla en diferentes áreas entre ellas podemos mencionar las siguientes:
- Ingeniería del conocimiento es una parte central de la investigación de Inteligencia Artificial.
- Aprendizaje automático también es una parte central de la Inteligencia Artificial.
- La clasificación determina la categoría a la que pertenece un objeto y la regresión se ocupa de obtener un conjunto de ejemplos de entradas o salidas numéricas.
- El análisis matemático de los algoritmos de aprendizaje automático y su rendimiento es una rama bien definida de la informática teórica.
- Percepción se ocupa de la capacidad de usar entradas sensoriales para deducir los diferentes aspectos del mundo.
- Visión por computadora analiza las entradas visuales con algunos subproblemas como el reconocimiento facial, de objetos y gestos.
- Robótica: también es un campo importante relacionado con la IA. Los robots requieren inteligencia para manejar tareas como la manipulación y navegación de objetos.

10

Áreas de aplicación

Algunas de las actividades para las que están diseñadas las computadoras con inteligencia artificial incluyen:

- reconocimiento de voz
- aprendizaje
- planificación
- resolución de problemas
- razonamiento
- percepción
- capacidad para manipular y mover objetos.

Estas áreas de aplicación están muy relacionadas con las de investigación que se explicaron en la sección anterior.

11


Fundamentos de la Inteligencia Artificial

A continuación se describen los aportes de cada una de estas disciplinas que conforman la base de la Inteligencia Artificial:

- Filosofía (desde el año 428 a.C. hasta el presente)
 - Aristóteles fue el primero en formular un conjunto preciso de leyes que gobiernan la parte racional de la inteligencia, también desarrolló un sistema informal para razonar adecuadamente con silogismos.
- Thomas Hobbes propuso que el razonamiento era como la computación numérica.
- Wilhelm Shickard construyó la primera máquina calculadora en 1623.
- Rene Descartes proporciona la primera discusión clara sobre la distinción entre la mente, la materia y los problemas que surgen.
- David Hume propuso el principio de inducción.

12


Fundamentos de la Inteligencia Artificial



- Matemáticas (aproximadamente desde el año 800 al presente)
 - Esta disciplina se conforma por áreas fundamentales: lógica, computación y probabilidad. En el siguiente cuadro se muestran los aportes más importantes en cada una de estas áreas.
 - Neurociencia (desde el año 1861 hasta el presente)
 - Es el estudio del sistema neurológico, la forma exacta en que un cerebro genera el pensamiento.
 - Se sabía que el cerebro estaba formado por neuronas, pero no fue hasta 1873 que se pudo observar las neuronas individuales en el cerebro.
 - Se ha logrado conocer que partes del cerebro están relacionadas con que partes del cuerpo.

13


Fundamentos de la Inteligencia Artificial



- Psicología (desde el año 1879 hasta el presente)
 - La psicología científica se inició con los trabajos del físico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894), y su discípulo Wilhelm Wundt (1823-1894). Helmholtz aplicó el método científico al estudio de la vista humana y su obra «Handbook of Physiological Optics» todavía se considera como el tratado actual más importante sobre la física y la fisiología de la vista humana.
 - La Psicología científica se aplicó inicialmente al estudio de la vista humana.
 - A principios del siglo XX se dio el movimiento conductista: insistían en el uso exclusivo de mediciones de estímulos y respuestas.
 - Psicología cognitiva: elementos a tener en cuenta para diseñar un agente basado en conocimiento:
 - Ingeniería Computacional (desde el año 1940)
 - Para que la IA sea una realidad es necesario: (1) Inteligencia y (2) Un artefacto: ⇒ Computador/Ordenador.
 - El computador electrónico digital moderno se inventó casi simultáneamente por científicos en tres países (I.G.M.)

14

Fundamentos de la Inteligencia Artificial



- Teoría de Control y Cibernética (desde el año 1948 hasta el presente)
 - Artefactos que operan bajo su propio control:
 - Reloj de agua por Ktesbios de Alejandría (250 a.C.), mostrado en la figura 4, fue la primera máquina auto controlada. Tenía un regulador que mantenía un flujo constante y predecible.
 - Motor de vapor por James Watt (1736-1819),
- Lingüística (desde el año 1957 hasta el presente)
 - B. F. Skinner en 1957 publica *Verbal Behavior*.
 - Una obra con visión extensa y detallada desde el enfoque conductista al aprendizaje del lenguaje.
 - La Teoría de Chomsky basada en modelos sintácticos de la lingüística de Panini (350 a.C.) suficientemente formal para permitir programación.
 - La lingüística moderna y la IA nacen al mismo tiempo en un campo llamado **lingüística computacional**.

15

HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL



La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina joven, es un conjunto de ciencias, teorías y técnicas (que incluyen lógica matemática, estadística, probabilidades, neurobiología computacional, informática) que tiene como objetivo imitar las habilidades cognitivas de un ser humano.

Prehistoria de la Inteligencia Artificial y sus etapas

- En esta sección se presentan, de manera sucinta, todas las etapas de la evolución de la Inteligencia Artificial empezando desde la prehistoria hasta nuestros días.

16

HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

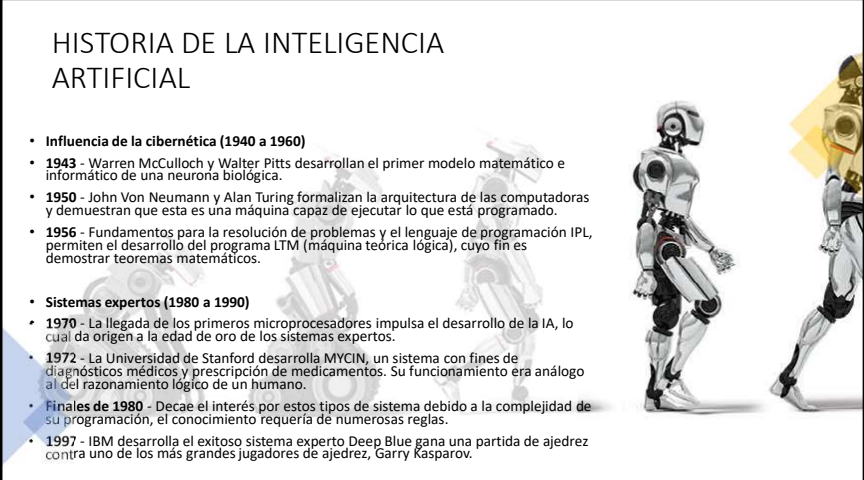
- **Evolución histórica:** Prehistoria
- **Autómatas**
- **Grecia (época alejandrina):**
- Herón: actores artificiales que representaban la Guerra de Troya.
- Mitología: Dios Talos, robot hijo de Dédalo que defendía Creta.
- **Edad Media:**
 - Mayordomo de San Alberto Magno.
 - León de Leonardo DaVinci.
 - "Ars Magna" de Ramón Llull (1232 - 1315): Intento de mecanización del razonamiento.
- **Máquinas automáticas**
- **1642** - Pascal construye una máquina sumadora.
- **1694** - Leibniz: Sistema binario.
- **1848** - George Boole (The Calculus of Logic): Pretendía un álgebra para representar el conocimiento.



17

HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- **Influencia de la cibernética (1940 a 1960)**
- **1943** - Warren McCulloch y Walter Pitts desarrollan el primer modelo matemático e informático de una neurona biológica.
- **1950** - John Von Neumann y Alan Turing formalizan la arquitectura de las computadoras y demuestran que esta es una máquina capaz de ejecutar lo que está programado.
- **1956** - Fundamentos para la resolución de problemas y el lenguaje de programación IPL, permiten el desarrollo del programa LTM (máquina teórica lógica), cuyo fin es demostrar teoremas matemáticos.
- **Sistemas expertos (1980 a 1990)**
- **1970** - La llegada de los primeros microprocesadores impulsa el desarrollo de la IA, lo cual da origen a la edad de oro de los sistemas expertos.
- **1972** - La Universidad de Stanford desarrolla MYCIN, un sistema con fines de diagnósticos médicos y prescripción de medicamentos. Su funcionamiento era análogo al del razonamiento lógico de un humano.
- **Finales de 1980** - Decae el interés por estos tipos de sistema debido a la complejidad de su programación, el conocimiento requería de numerosas reglas.
- **1997** - IBM desarrolla el exitoso sistema experto Deep Blue gana una partida de ajedrez contra uno de los más grandes jugadores de ajedrez, Garry Kasparov.



18

HISTORIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- **Enfoque en datos masivos y nueva potencia de cálculo (desde 2010)**
- **2010** - El acceso a volúmenes masivos de datos y el descubrimiento de la gran eficiencia de las tarjetas gráficas para acelerar el cálculo de algoritmos de aprendizaje, fueron los factores principales que le dieron auge a la IA.
- **2011** - Watson, IA desarrollada por IBM, vence a dos campeones del juego Jeopardy!.
- **2012** - Google X desarrolla una IA para el reconocimiento de gatos en un video. A pesar de los numerosos procesadores que se utilizaron, se confirma que una máquina aprende a distinguir.
- **2016** - AlphaGO, una IA especializada en juegos de Go, vence a dos campeones y luego a sí misma (AlphaGO Zero).



19

Prueba de Turing

Es una prueba propuesta por el matemático inglés Alan M. Turing en 1950. Turing propuso que se puede decir que una computadora posee inteligencia artificial si puede imitar las respuestas humanas en condiciones específicas. La prueba de Turing original requiere tres terminales, cada una de las cuales está físicamente separada de las otras dos. Una terminal es operada por una computadora, mientras que las otras dos son operadas por humanos.

La prueba de Turing sugiere utilizar a un interrogador humano remoto, dentro de un marco de tiempo fijo, el cual debe distinguir entre una computadora y un sujeto humano en función de sus respuestas a varias preguntas planteadas por el interrogador. Mediante una serie de pruebas de este tipo, el éxito de una computadora se puede medir por su probabilidad de ser identificado erróneamente como sujeto humano.



20

La Conferencia de Dartmouth

En 1956, en Dartmouth College, New Hampshire, Estados Unidos; John McCarthy propuso el desarrollo de un taller de dos meses, con un mes para una lluvia de ideas con personas con talento, experiencia e interés en la inteligencia artificial. Junto con otros organizadores como Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon, realizaron este taller con el objetivo de aumentar el interés de los investigadores americanos en la teoría de autómatas, las redes neuronales y el estudio de la inteligencia. Se propuso demostrar que todos los aspectos de aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia pueden ser descritas utilizando una máquina hecha para simular tal fin.

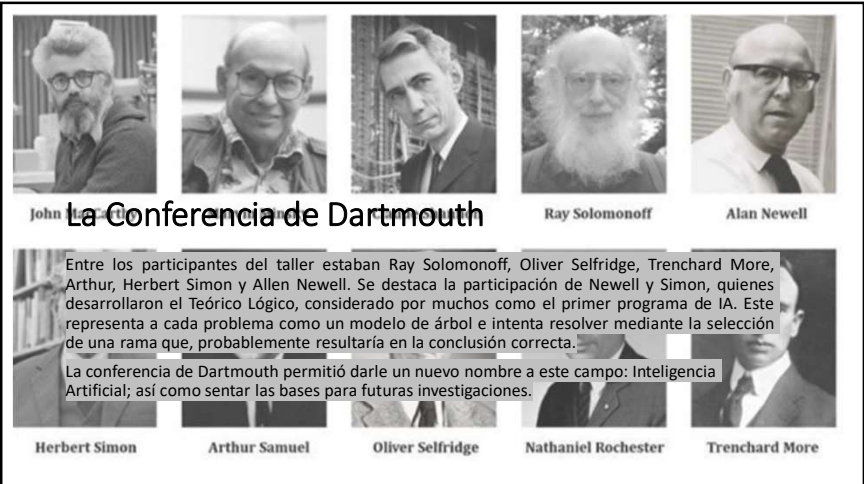


21

La Conferencia de Dartmouth

Entre los participantes del taller estaban Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Trenchard More, Arthur, Herbert Simon y Allen Newell. Se destaca la participación de Newell y Simon, quienes desarrollaron el Teórico Lógico, considerado por muchos como el primer programa de IA. Este representa a cada problema como un modelo de árbol e intenta resolver mediante la selección de una rama que, probablemente resultaría en la conclusión correcta.

La conferencia de Dartmouth permitió darle un nuevo nombre a este campo: Inteligencia Artificial; así como sentar las bases para futuras investigaciones.

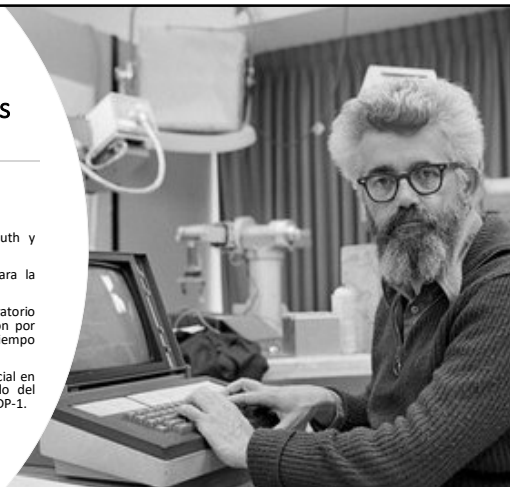


22

Participantes y sus aportes

John McCarthy

- Considerado el padre de la inteligencia artificial.
- Profesor asistente de matemáticas en Dartmouth y quien propuso la Conferencia de Dartmouth.
- Inventó el lenguaje LISP, el cual es la clave para la resolución de problemas centrales en IA.
- Junto con Minsky, crearon en 1958 el primer laboratorio de habilitación artificial del mundo y propusieron por primera vez el concepto de sistema de tiempo compartido.
- Crea en 1962 el Laboratorio de Inteligencia Artificial en la Universidad de Stanford e inicia el desarrollo del sistema de tiempo compartido basado en el DECPDP-1.

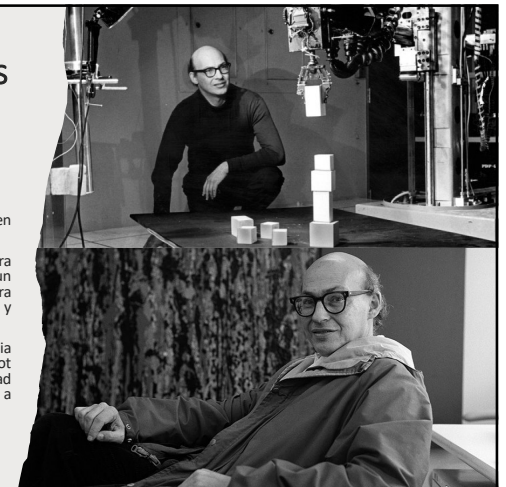


23

Participantes y sus aportes

Marvin Minsky

- Fundador de la inteligencia artificial.
- Primer experto en la inteligencia artificial en ganar el Premio Turing.
- Funda el marco teórico de la IA en 1957, para expresar el conocimiento en la forma de un framework, de modo que pueda usarse para representar el conocimiento de forma completa y precisa.
- Fue el primero en combinar la inteligencia artificial con la robótica. Inventó el primer robot llamado Robot C, que simulaba la actividad humana y promovió las habilidades artificiales a un nuevo nivel.



24

Participantes y sus aportes

Allen Newell

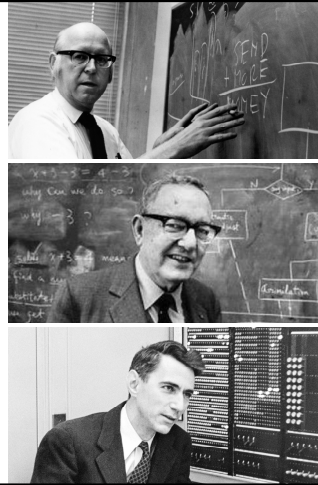
- Recibe en 1957 el Premio Turing por su importante contribución a la inteligencia artificial: inventó el lenguaje de programación IPL (Information Processing Language).

Herbert Simon

- Recibe en 1975 el Premio Turing por su importante contribución a la inteligencia artificial: fue el pionero de la computación mental.

Claude Shannon

- Fundador de la teoría de la información. Propone el concepto de Entropía de la Información, el cual sienta las bases para la tecnología de la información y la comunicación digital.



25

Inteligencia Artificial en las Universidades

Muchas instituciones están interesadas en la investigación en IA. Entre las más importantes dentro de esta disciplina están:

- Universidad Carnegie-Mellon
- Instituto Tecnológico Massachusetts
- Universidad de Stanford

Sin embargo, la investigación en IA no está relegada a solo estas tres universidades. Podemos mencionar otras universidades que cuentan con un departamento de informática, imparten cursos y realizan investigaciones en IA. Algunas de ellas ubicadas en los Estados Unidos son:

- Universidad de Rutgers
- Universidad de Pittbull
- Universidad de Yale
- Universidad de California
- Universidad de Pensilvania
- Universidad de Purdue
- Universidad de Rhode Island
- Universidad Ohio State
- Universidad de Illinois
- Universidad de Harvard

26

Compañías de Inteligencia Artificial

Muchas son las compañías que han realizado y continúan realizando trabajos relacionados con la IA. En esta sección se mencionarán algunas de ellas, sin embargo, se aclara que es una pequeña muestra de la gran cantidad de compañías que se dedican a trabajar en esta área.

✓ Deviatan

Es una de las pocas empresas en México capaces de desarrollar software de alta complejidad tecnológica.

✓ Tecnoldea

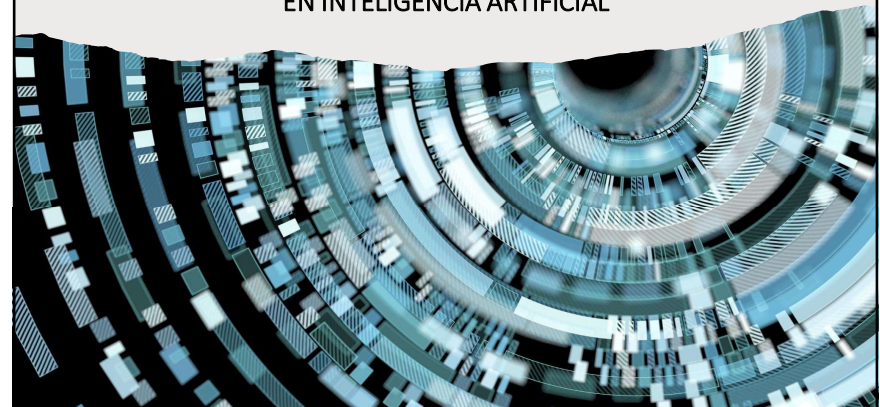
Tecnologías para la Innovación y Desarrollo de Aplicaciones surgió en 2007. Tiene como misión el desarrollo de soluciones tecnológicas de vanguardia relacionadas con la inteligencia artificial, comunicaciones avanzadas, transacciones electrónicas y demás sectores tecnológicos.

✓ Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA)

La Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA) se creó en 1983 para potenciar y fomentar el desarrollo de la Inteligencia Artificial tanto en el ámbito español como en el iberoamericano.

27

MÓDULO II: ESTRATEGIAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL



28

ESTRATEGIAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

• SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE BÚSQUEDA

Dentro del campo de la Inteligencia Artificial, las técnicas de búsqueda son un tema fundamental. Debido a inherente complejidad de muchos problemas relacionados a la IA, las técnicas de búsqueda permiten representar el conocimiento y utilizar algoritmos para solucionarlos.

29

Aspectos generales sobre el diseño de programas de búsquedas

La búsqueda es un proceso que consiste en inspeccionar varias secuencias y escoger una de ellas para lograr un objetivo. Es decir, que se tiene una situación inicial cuya solución es el objetivo que se quiere lograr y se dispone de acciones simples que al ejecutarlas en una secuencia en particular, pueden lograr o no el objetivo.

Muchos de los problemas dentro de la IA se componen de ciertos elementos que son fundamentales para aplicar las técnicas de búsqueda, estos elementos son:

- **Espacio de búsqueda:** El conjunto de estados posibles.
- **Estado:** El resultado posible de un problema.
- **Transición:** La acción de moverse entre estados.
- **Estado inicial:** Estado desde el cual se inicia la búsqueda.
- **Estados intermedios:** Estados entre el estado inicial y el estado final.
- **Estado final:** Estado en el que se detiene la búsqueda. Es la solución del problema.

30

Búsqueda ciega o sin información

La búsqueda ciega consiste en una exploración sin información en el espacio de estados, es decir, no se tiene información sobre el dominio. Este tipo de búsqueda considera el camino más prometedor en el momento, no el camino óptimo para llegar al objetivo.

Búsqueda primero en anchura

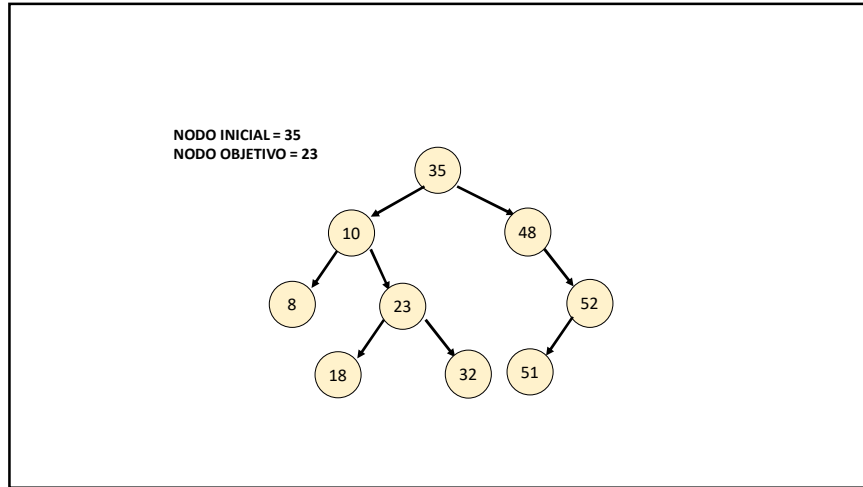
La búsqueda primero en anchura se implementa utilizando a la estructura de datos denominada cola. El algoritmo empieza desde la raíz y atraviesa el árbol nivel por nivel, pasa por todos los nodos de un nivel antes de pasar a los nodos hijos.

31

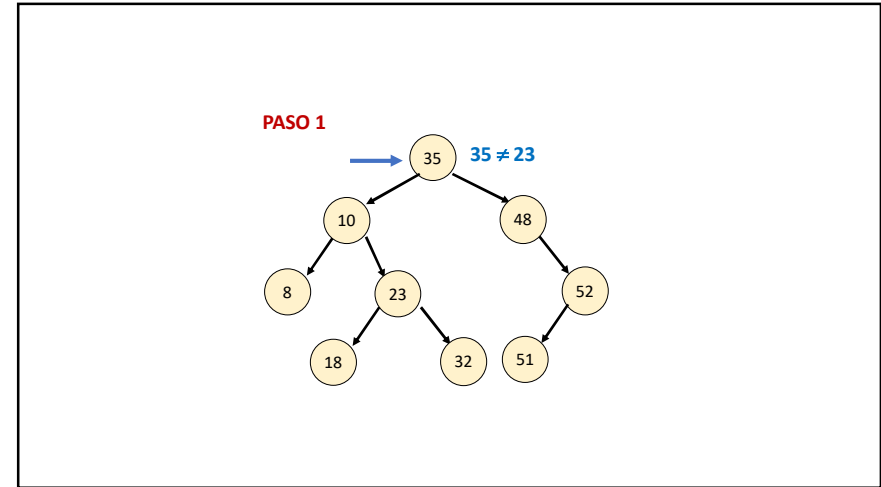
BUSQUEDA EN AMPLITUD IA



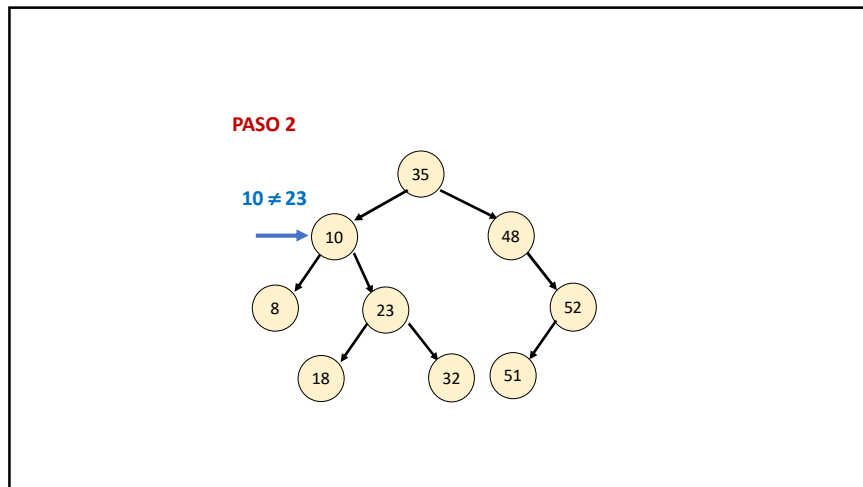
32



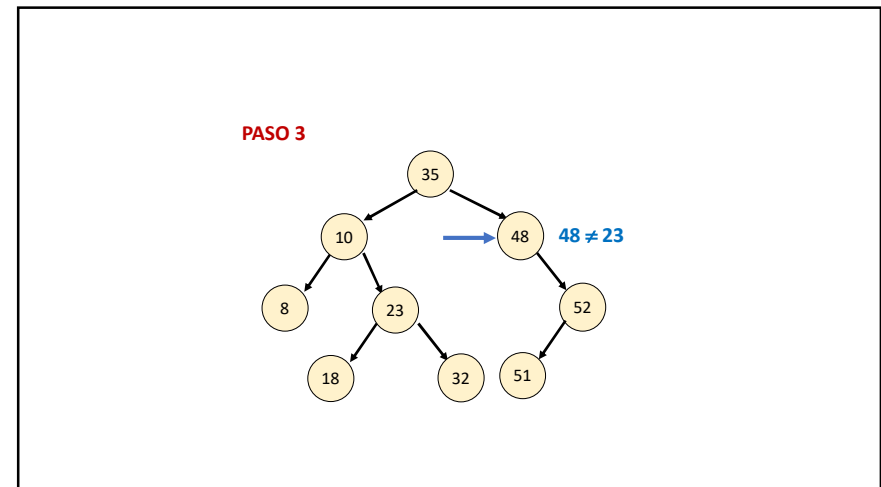
33



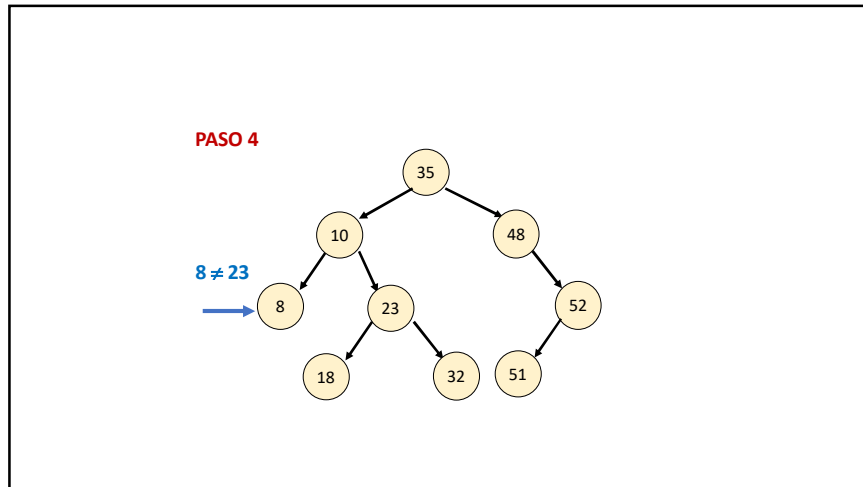
34



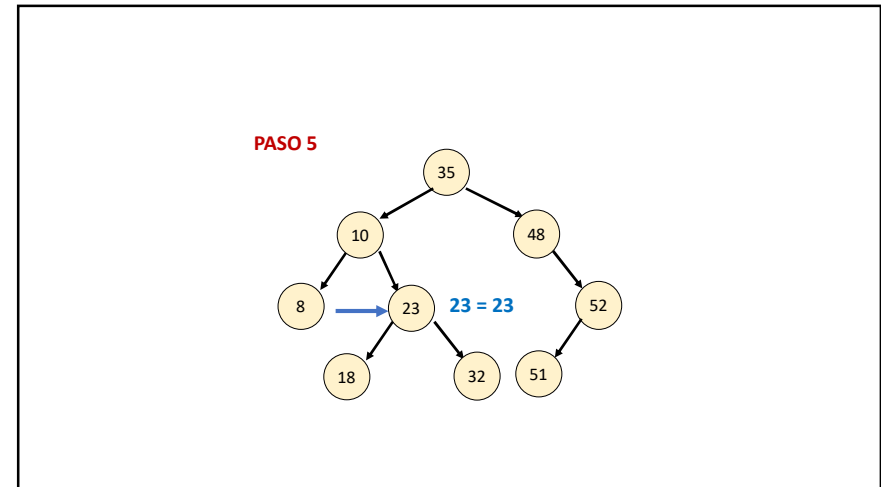
35



36



37



38

Búsqueda primero en profundidad

La búsqueda primero en profundidad se implementa utilizando a la estructura de datos denominada pila. El algoritmo empieza desde la raíz y explora a todos los nodos de una sola rama del árbol.

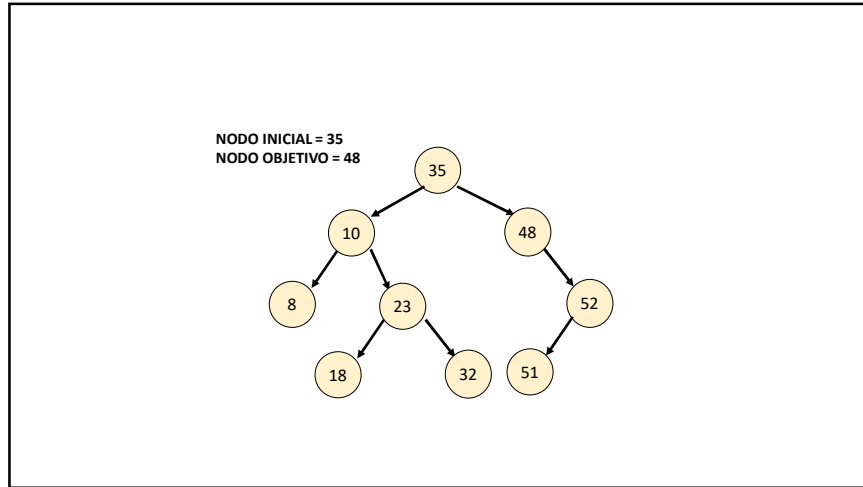
Si no encuentra una solución o termina la búsqueda por esa rama entonces hace una vuelta hacia atrás (denominado backtracking), elimina los nodos ya visitados en esa rama y sigue por otra rama. Sus principales desventajas son que la búsqueda puede no finalizar si se trata de un árbol infinito y puede presentarse bucles infinitos.

39

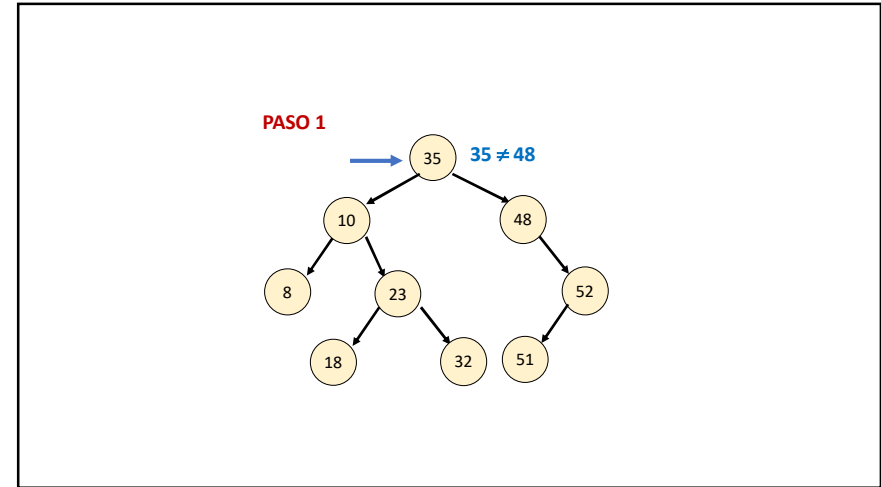
BUSQUEDA EN PROFUNDIDAD IA



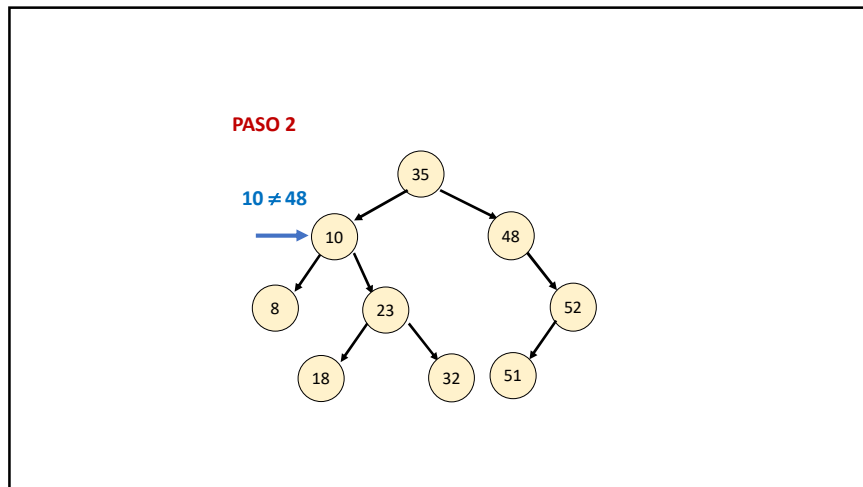
40



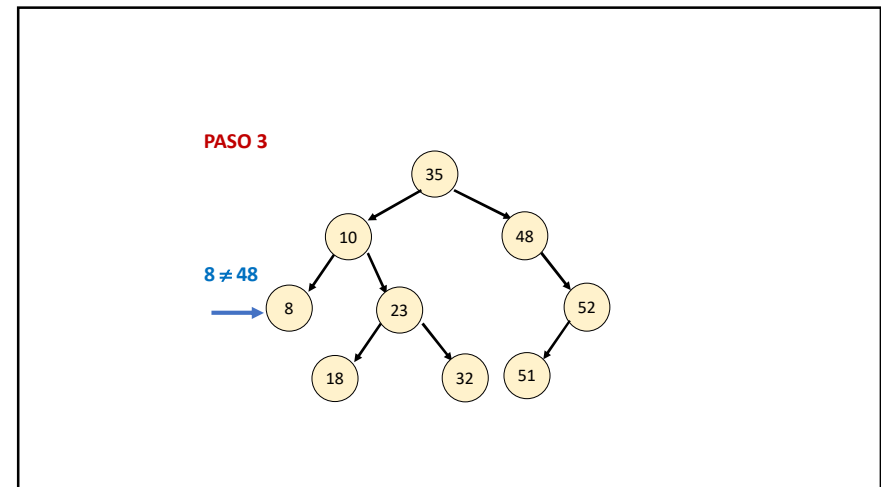
41



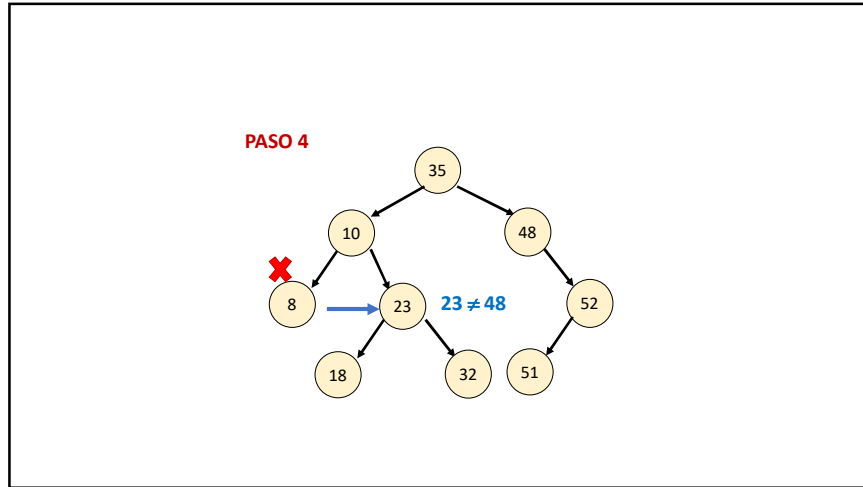
42



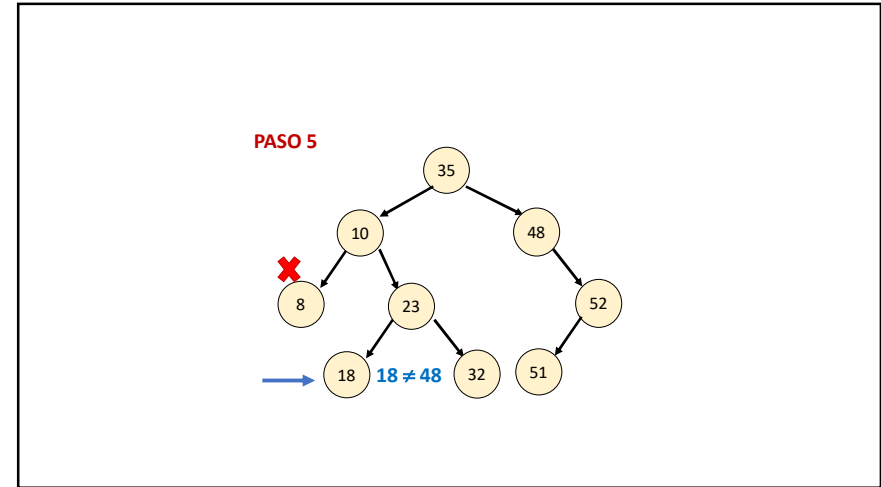
43



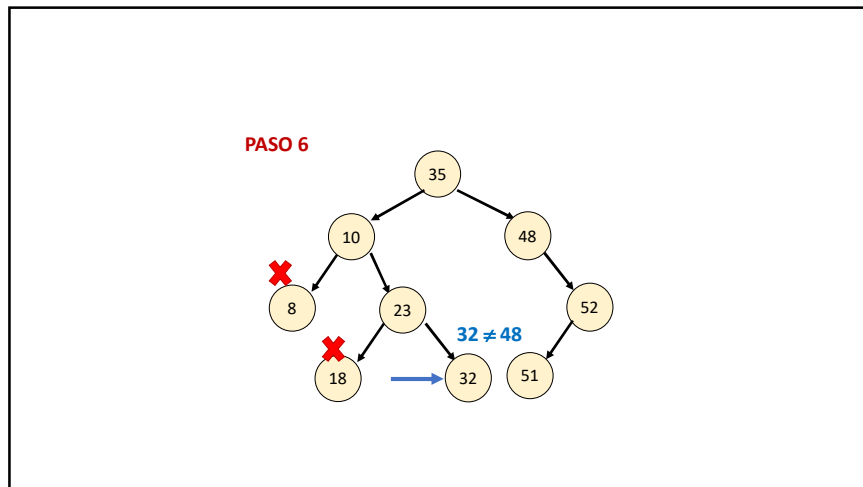
44



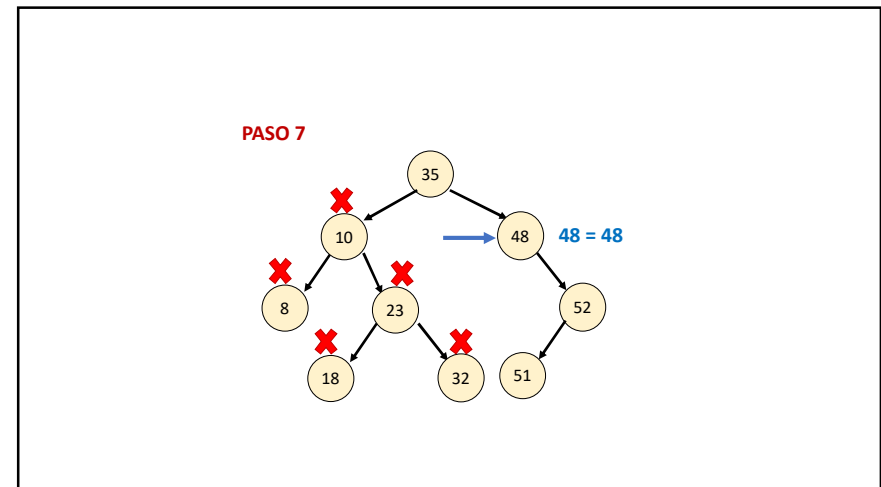
45



46



47



48

Búsqueda en profundidad iterativa

La búsqueda en profundidad iterativa combina las mejores características de la búsqueda en anchura y la búsqueda en profundidad. En este tipo de búsqueda, el algoritmo funciona de la siguiente manera:

- Se establece una profundidad predefinida.
- El árbol se desarrolla realizando la búsqueda en profundidad hasta el límite predefinido en el paso 1.
- Si encuentra una solución el proceso de búsqueda finaliza. De lo contrario se predefine una nueva profundidad y se repiten los pasos.

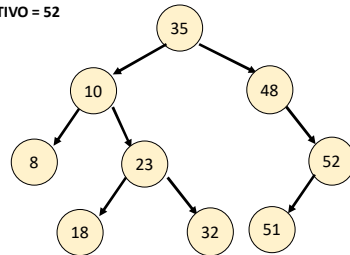


49

BUSQUEDA EN PROFUNDIDAD ITERATIVA IA

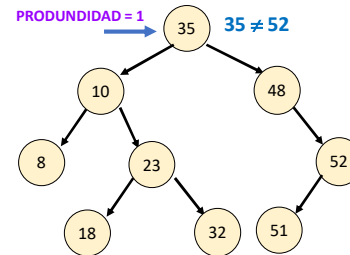
50

NODO INICIAL = 35
NODO OBJETIVO = 52

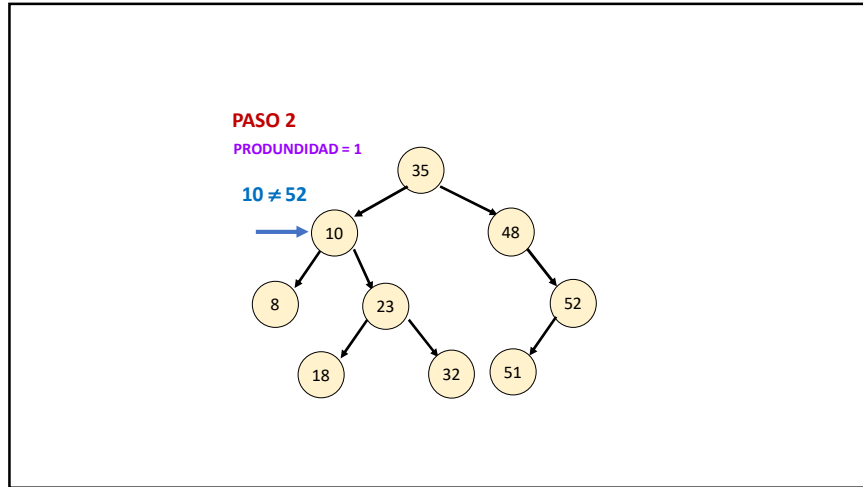


51

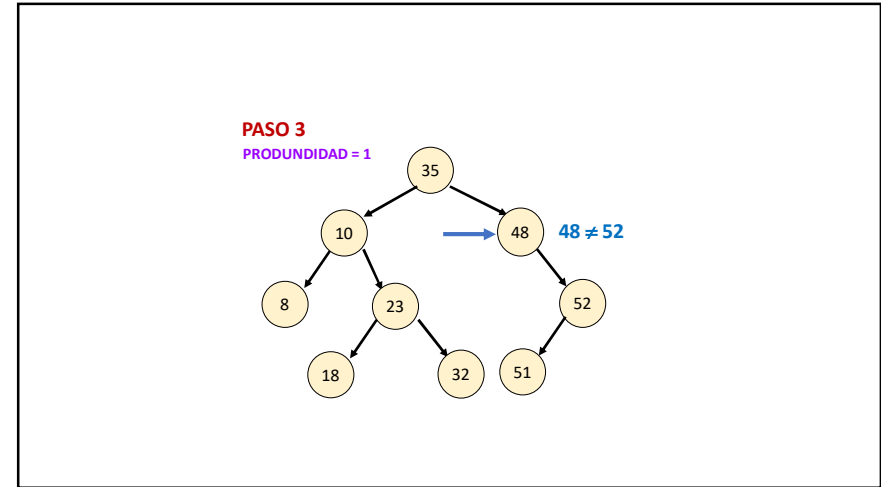
PASO 1
PRODUNDIDAD = 1 → 35 35 ≠ 52



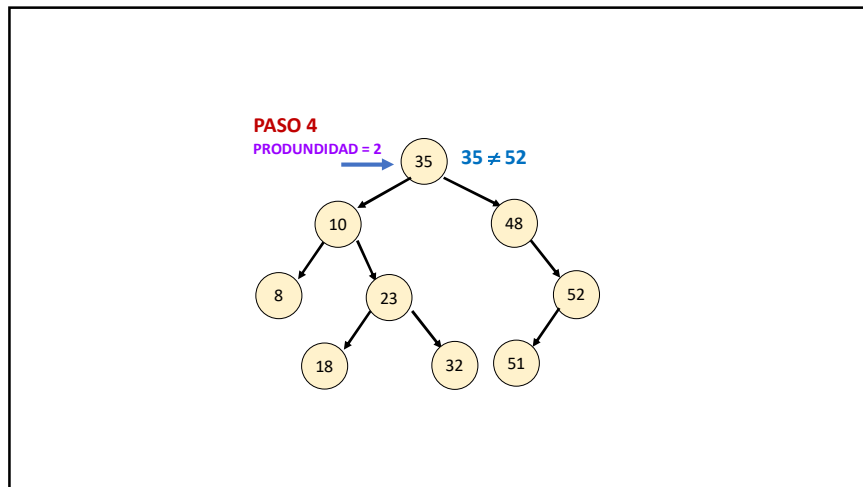
52



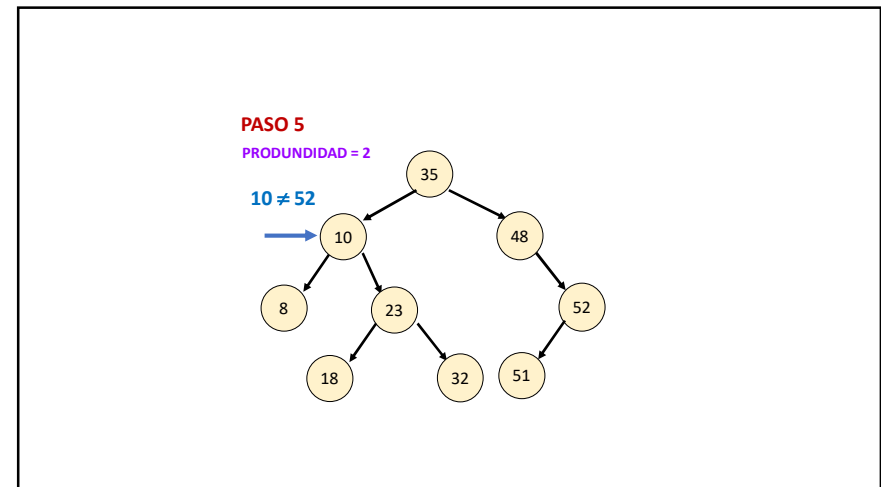
53



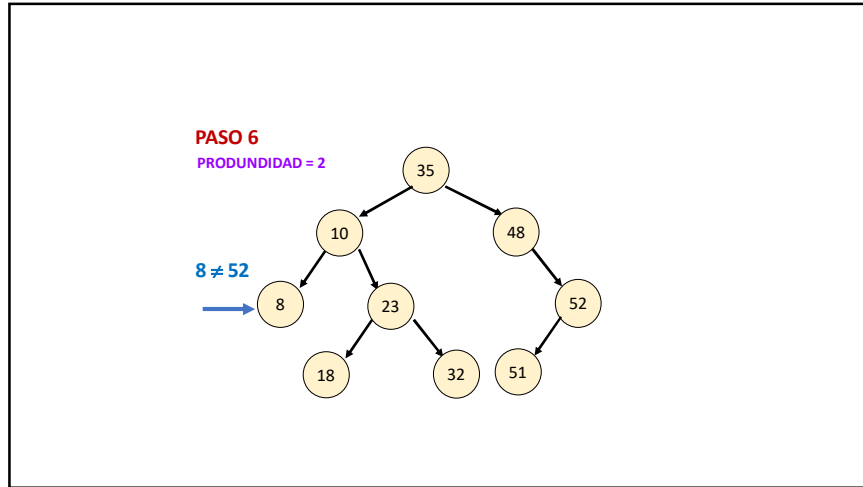
54



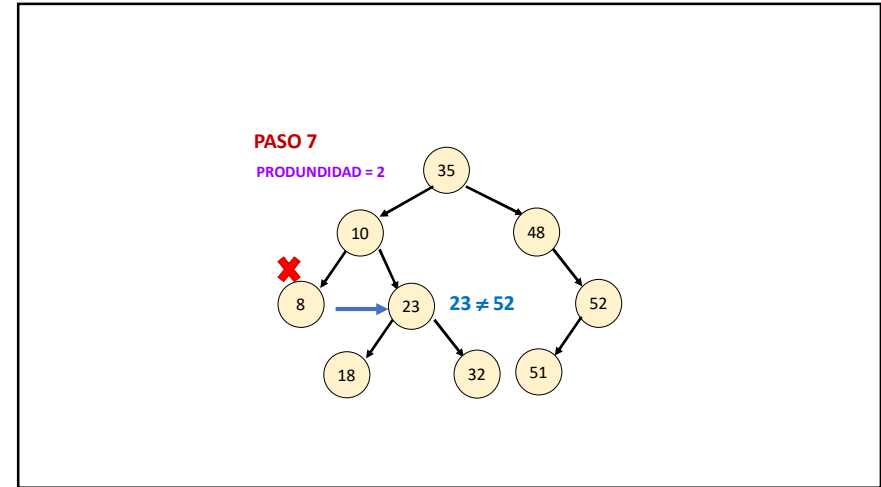
55



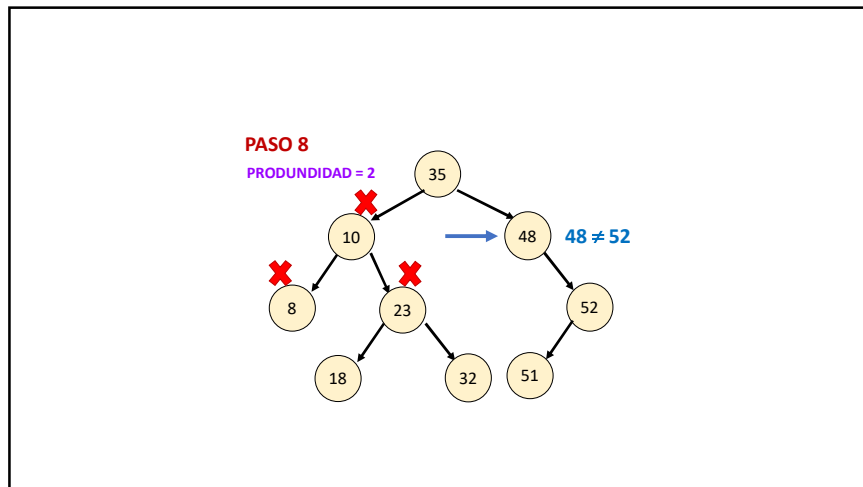
56



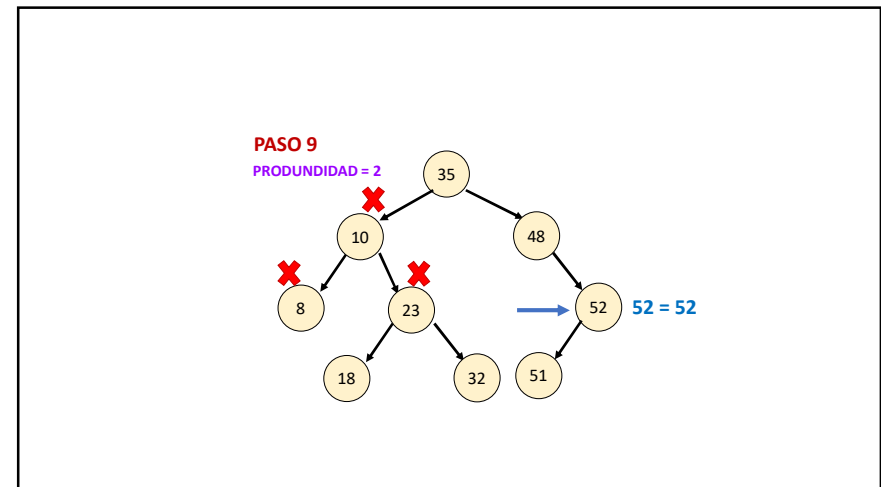
57



58



59



60

Búsqueda heurística

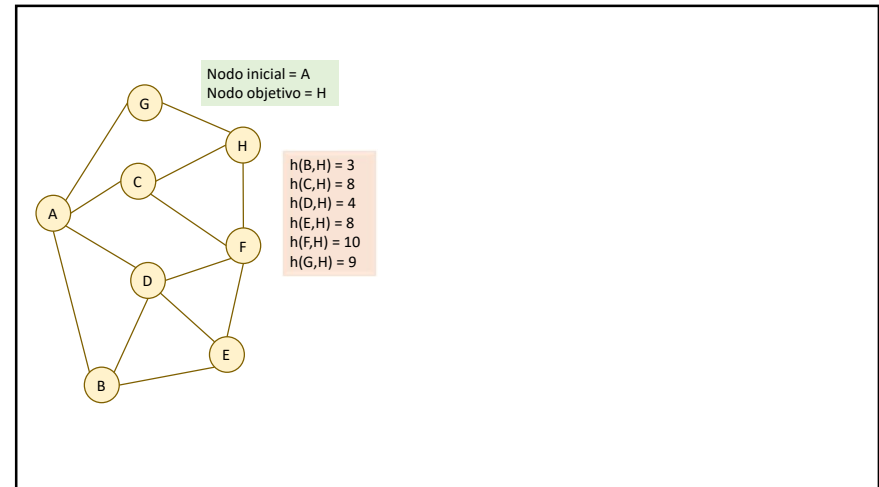
Búsqueda heurística

En la búsqueda heurística se tiene información sobre el dominio. Utiliza funciones que estiman el coste desde el estado actual hasta el objetivo. A esta función se le denomina función de evaluación heurística, más conocida como función heurística y se denota por $h(n)$.

Búsqueda por ascenso de la colina

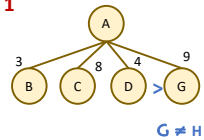
La búsqueda por ascenso de la colina se basa en una función de evaluación que ordena las opciones a medida que los nodos se expanden. La función de evaluación da un valor de la distancia restante estimada para llegar al objetivo y la efectividad de esta técnica depende completamente de su precisión

61



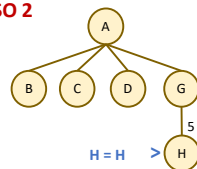
62

PASO 1



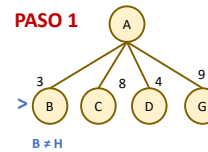
ASCENSO DE COLINA

PASO 2



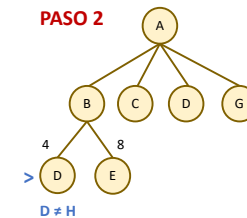
63

PASO 1

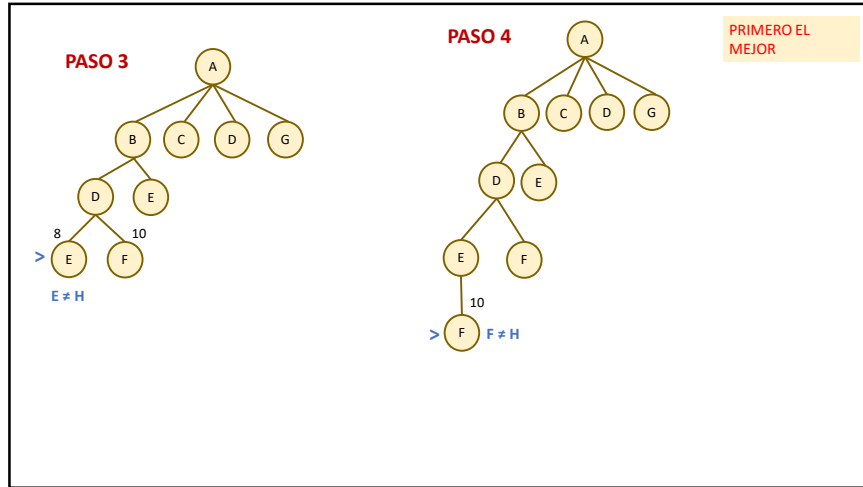


PRIMERO EL MEJOR

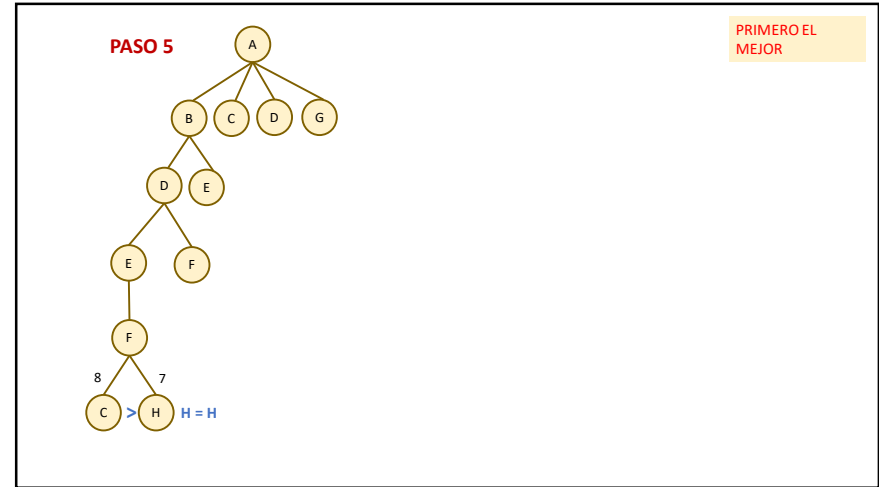
PASO 2



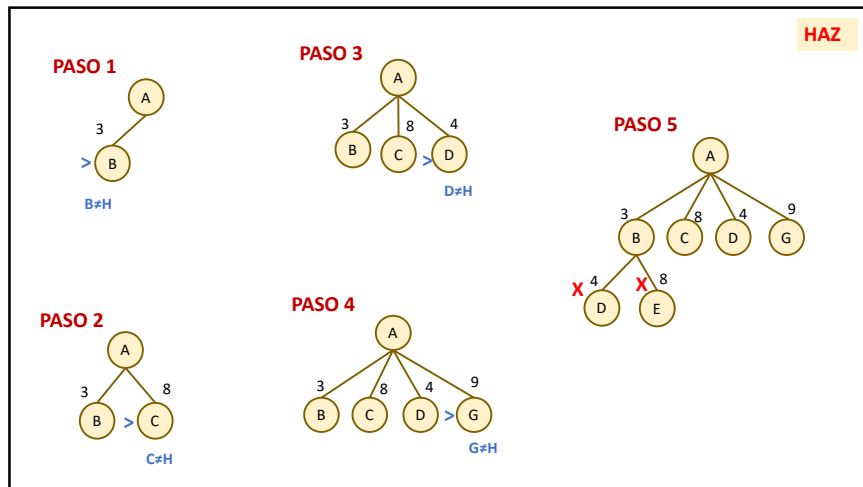
64



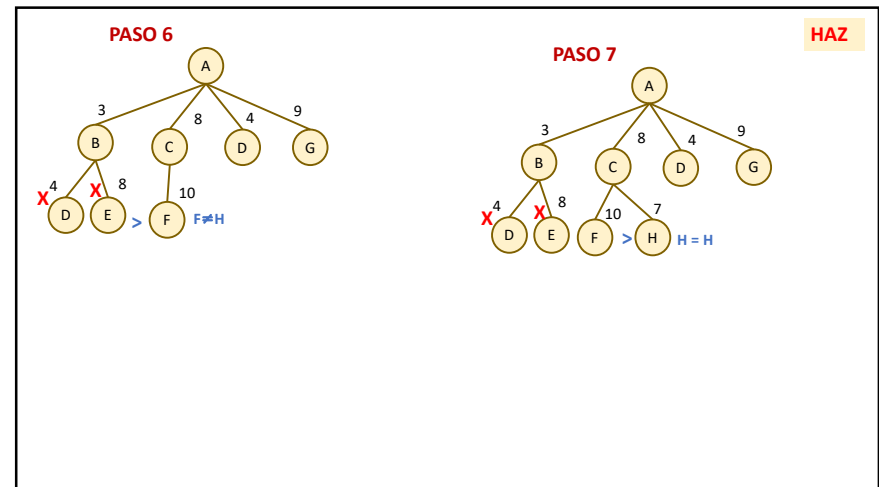
65



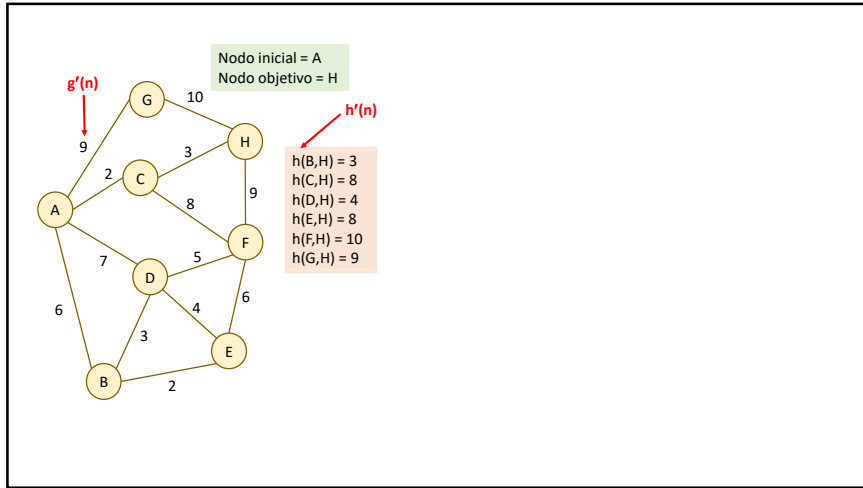
66



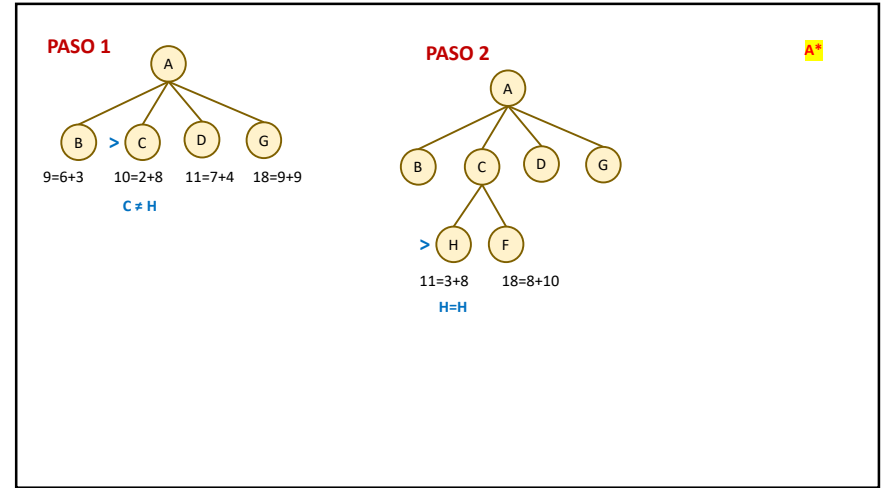
67



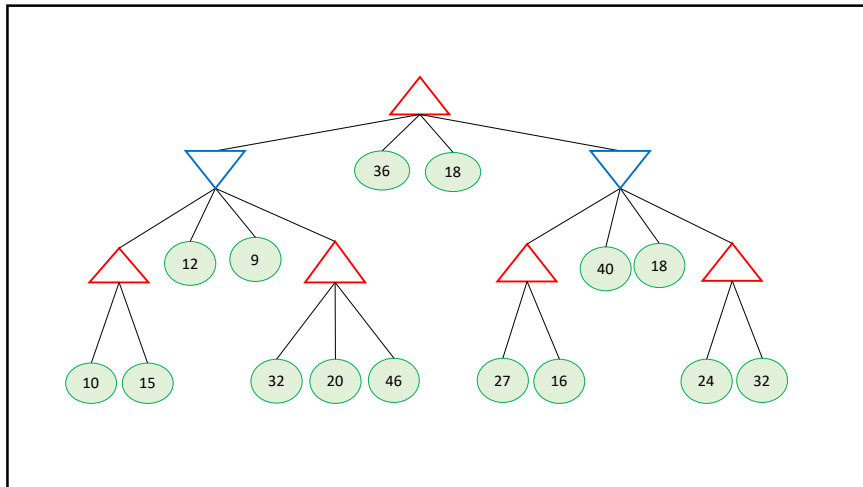
68



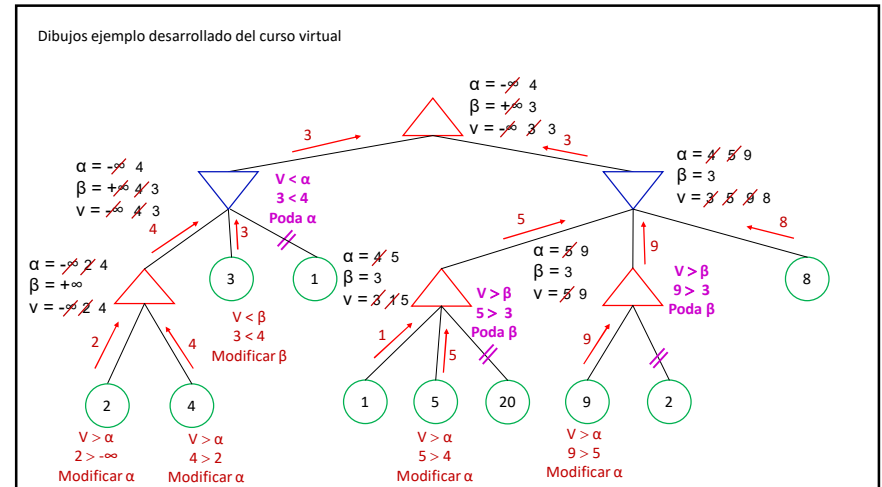
69



70



71



72

Búsqueda en problemas de juego

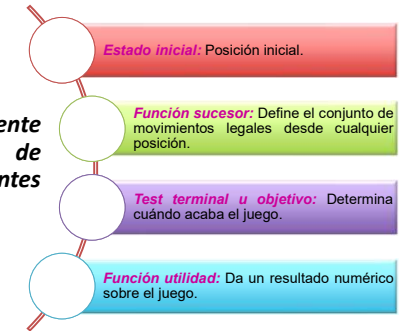
La búsqueda en problemas de juegos es propia de los entornos multiagente competitivos, ya que un agente tiene que considerar las acciones que realizan los otros agentes. A estos entornos competitivos se les denomina búsqueda entre adversarios o juegos.

Los juegos que se estudian en la Inteligencia Artificial son una clase más especializada, por ejemplo, suma cero, de dos jugadores por turnos (jugador MAX, jugador MIN), ajedrez, damas, etc.

73

Definición formal de juego

Un juego puede definirse formalmente como una clase de problemas de búsqueda que cuenta con los siguientes componentes:



74

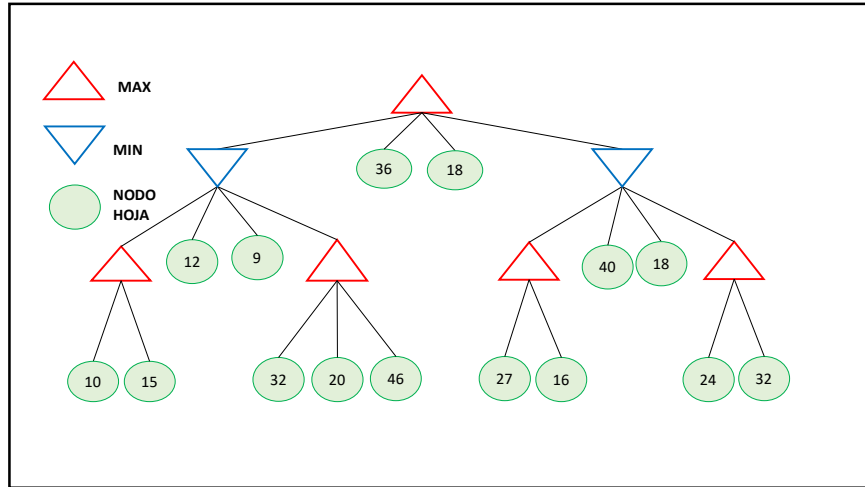
Procedimiento Minimax

Minimax se utiliza en la toma de decisiones y la teoría de juegos para encontrar el movimiento óptimo para un jugador, suponiendo que su oponente también juegue de manera óptima. En Minimax, los dos jugadores se llaman maximizador (MAX) y minimizador (MIN).

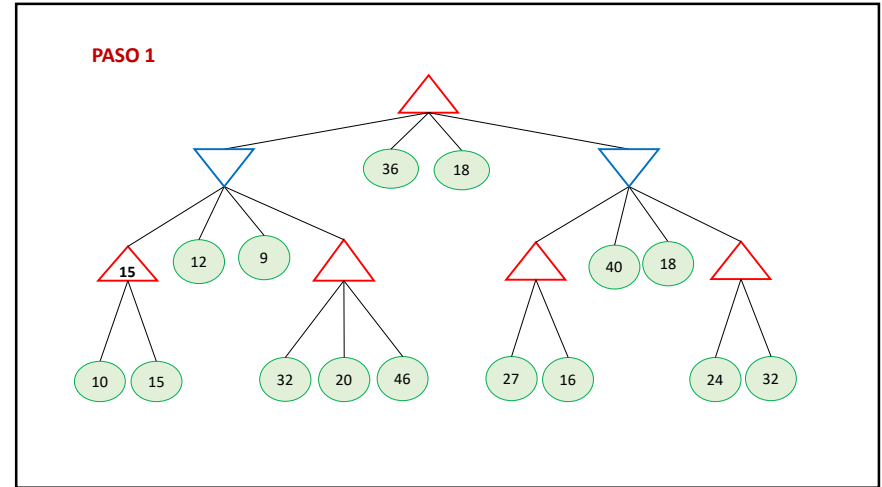
75

PROCEDIMIENTO MINI-MAX

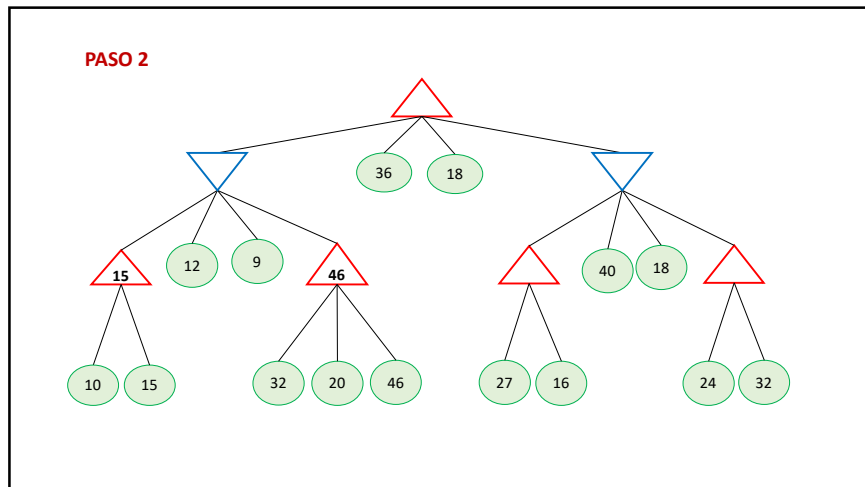
76



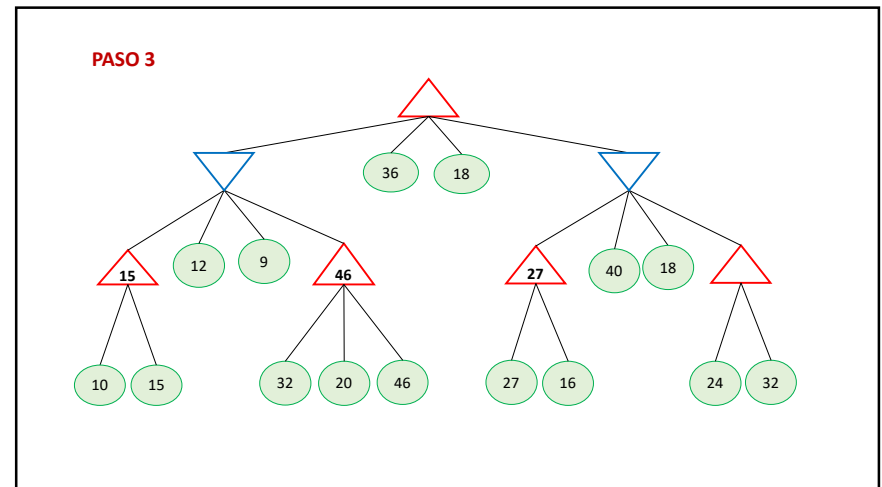
77



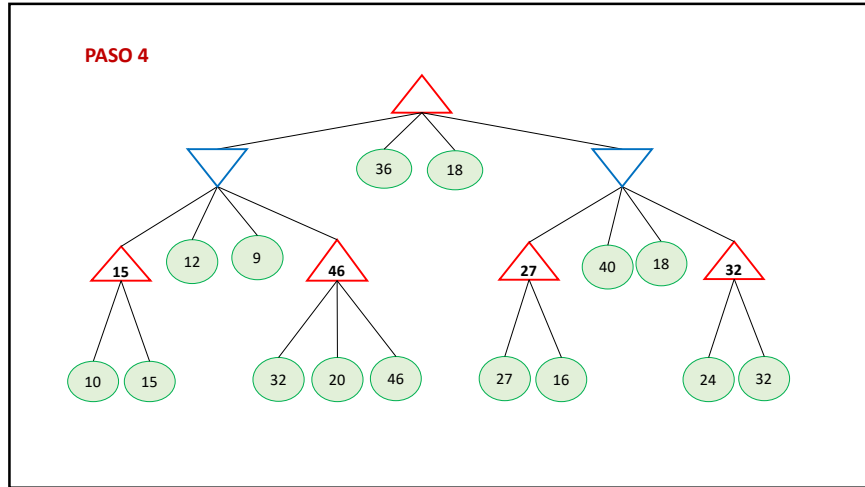
78



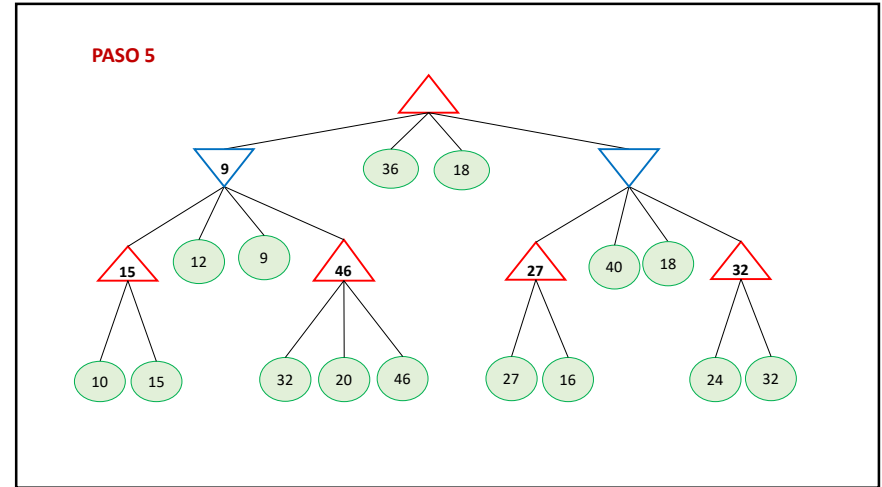
79



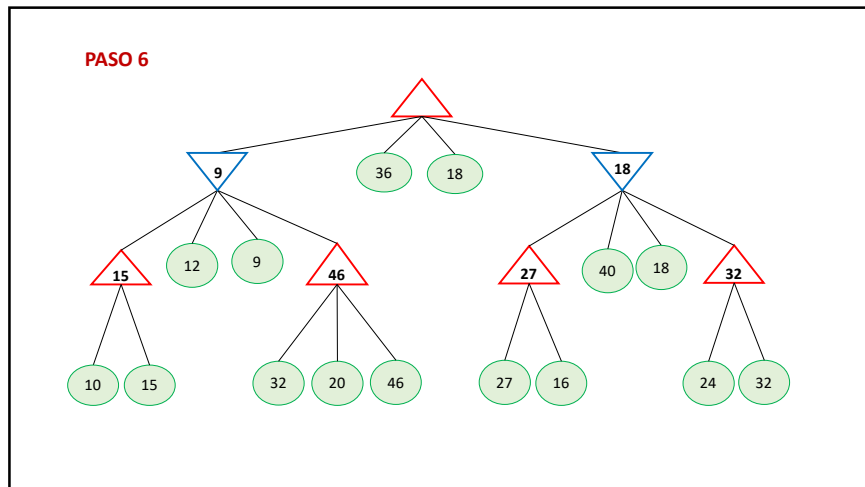
80



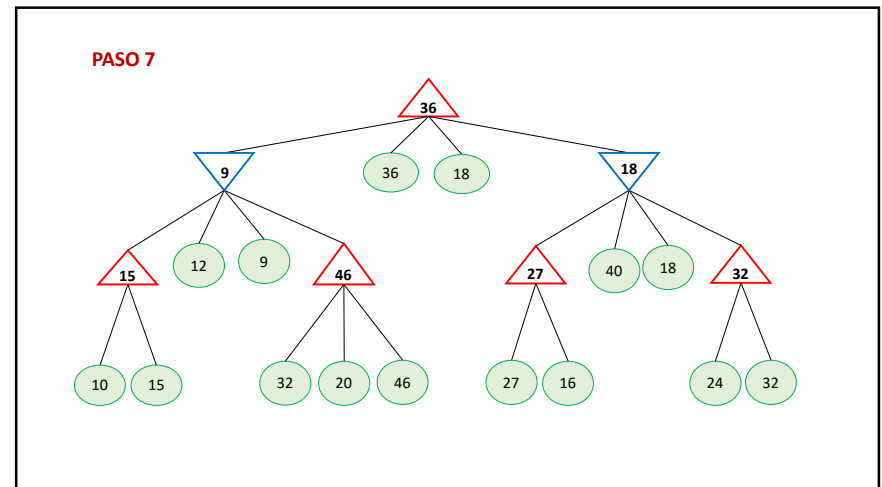
81



82



83



84

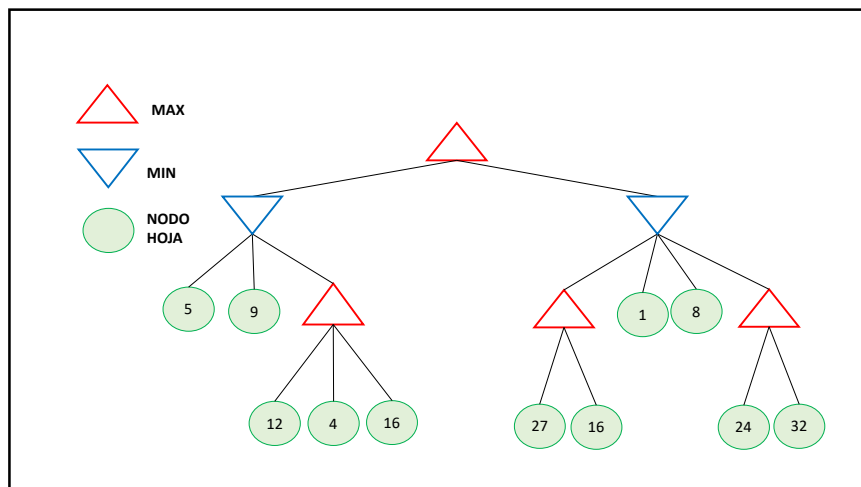
Procedimiento Alfa – Beta

- El procedimiento Alfa-Beta permite eliminar partes grandes del árbol (poda), sin influir en la decisión final. El algoritmo utiliza dos parámetros:
- **Alfa (α)** es el mejor valor que el **maximizador (MAX)** puede garantizar actualmente en ese nivel o superior.
- **Beta (β)** es el mejor valor que el **minimizador (MIN)** puede garantizar actualmente a ese nivel o superior.

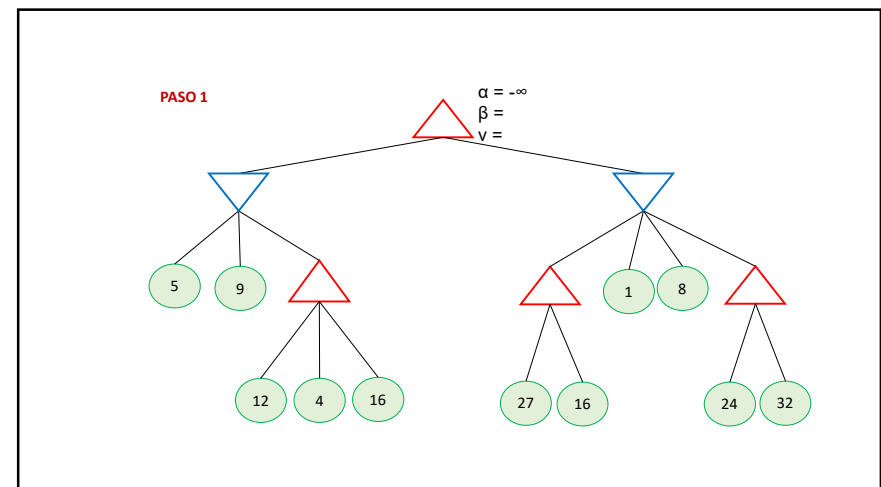
85

PROCEDIMIENTO ALFA - BETA

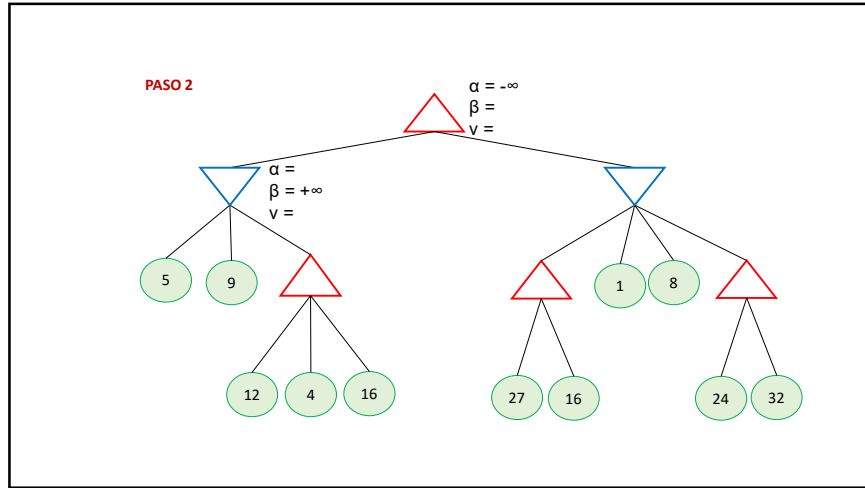
86



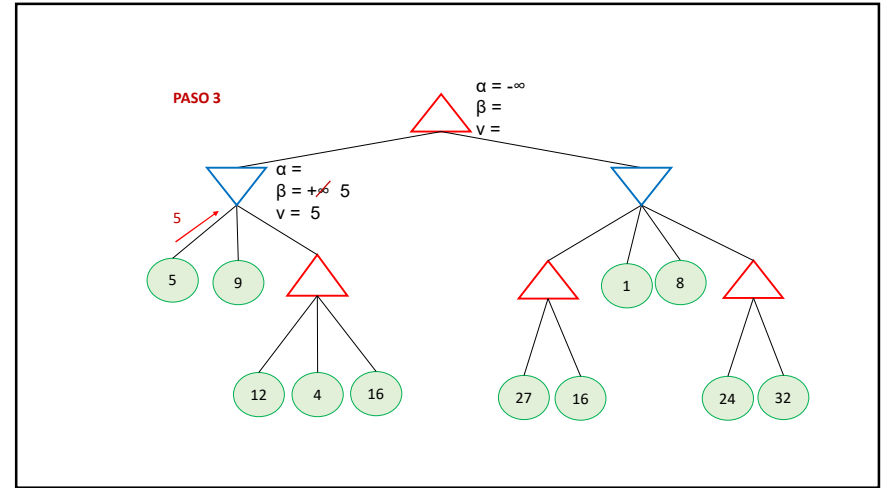
87



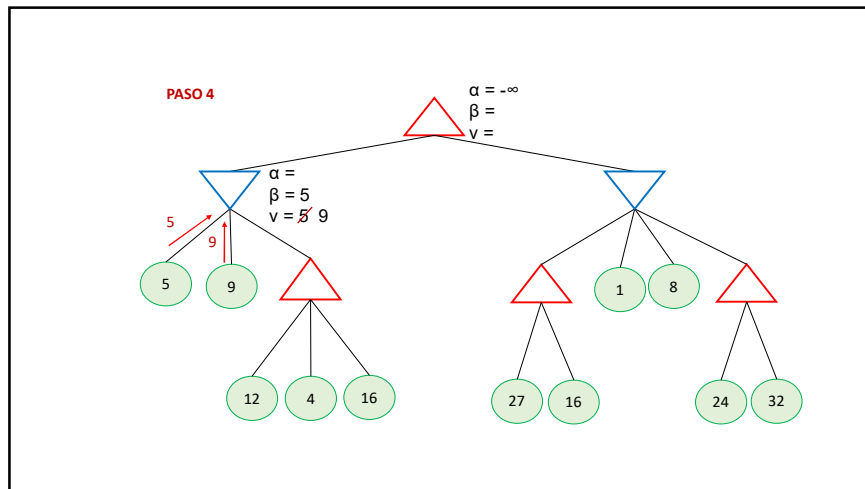
88



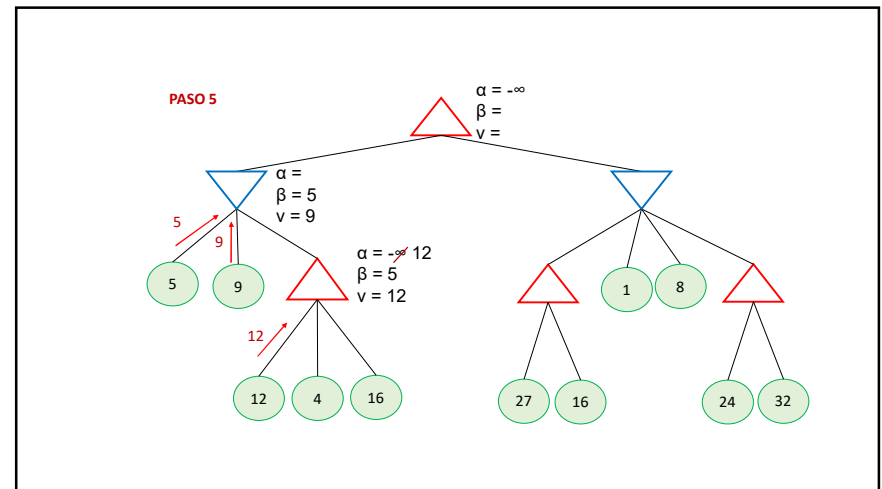
89



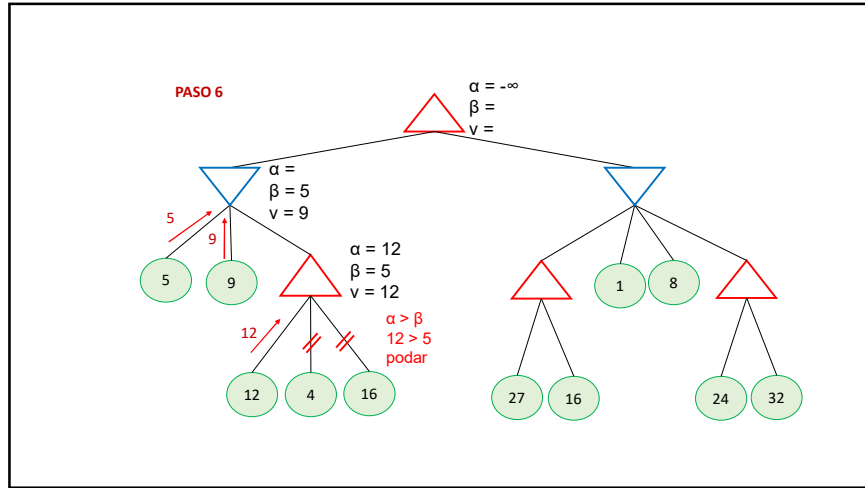
90



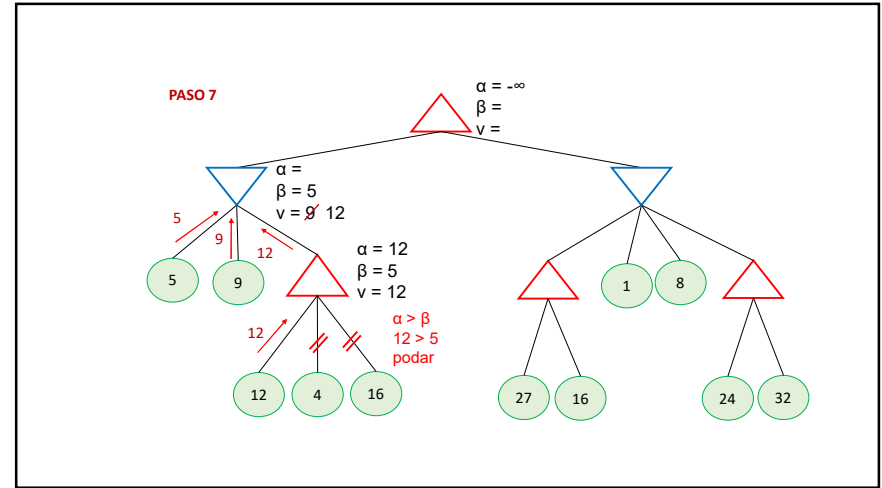
91



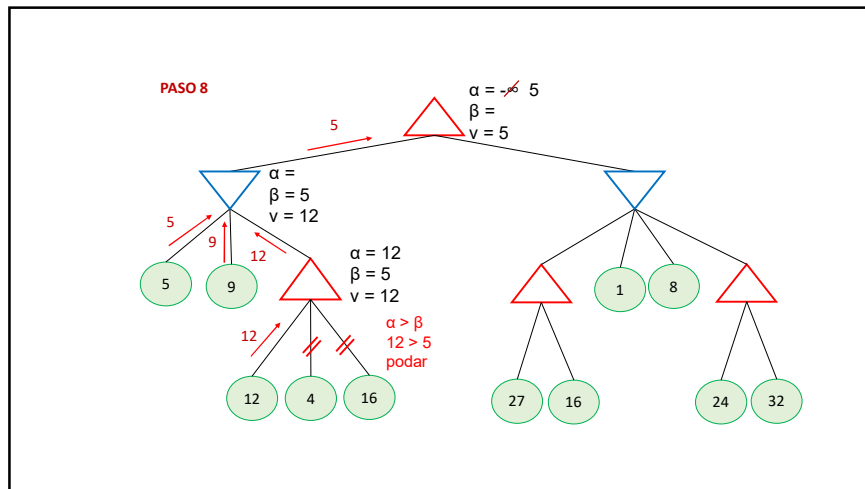
92



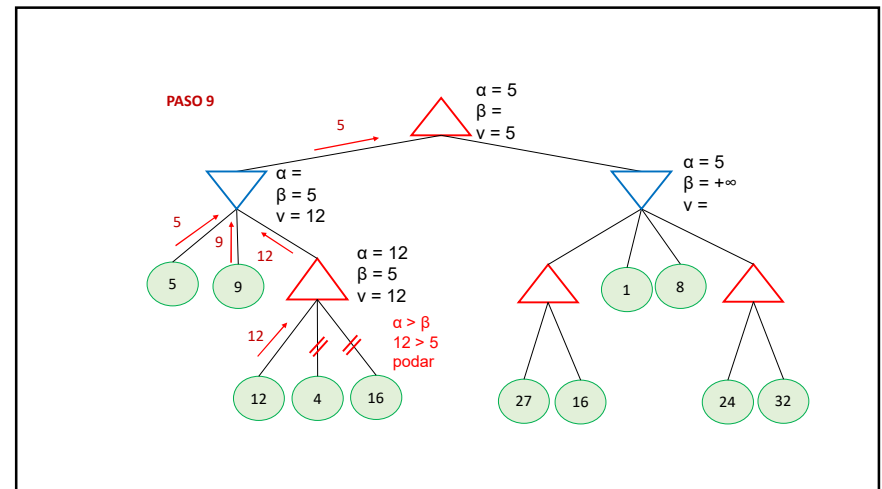
93



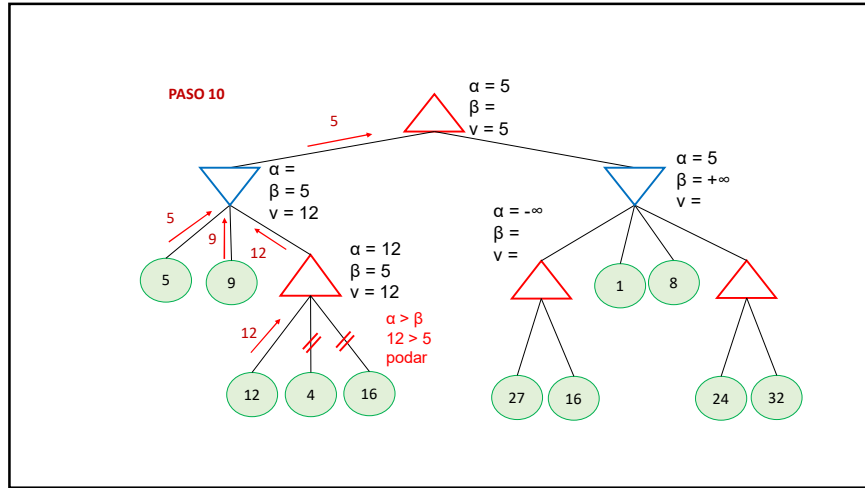
94



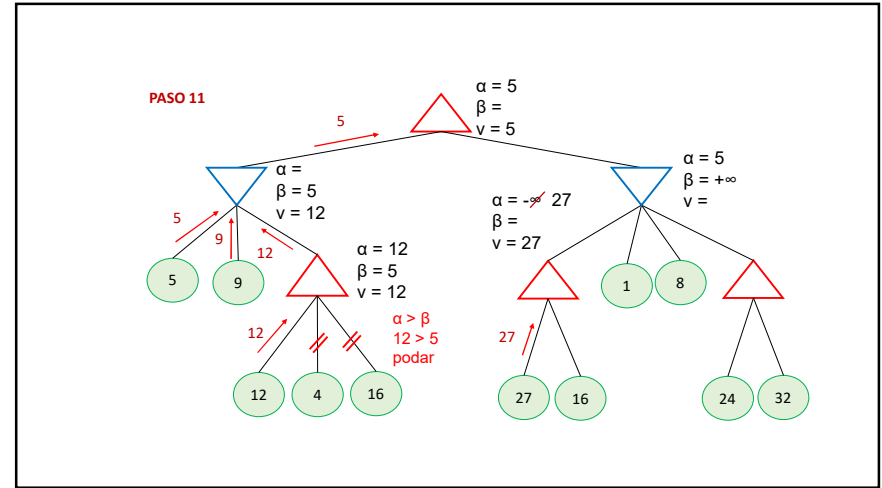
95



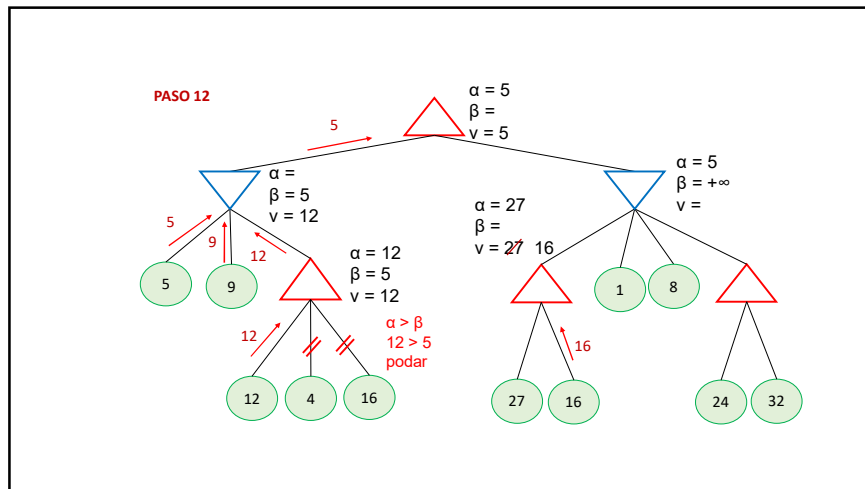
96



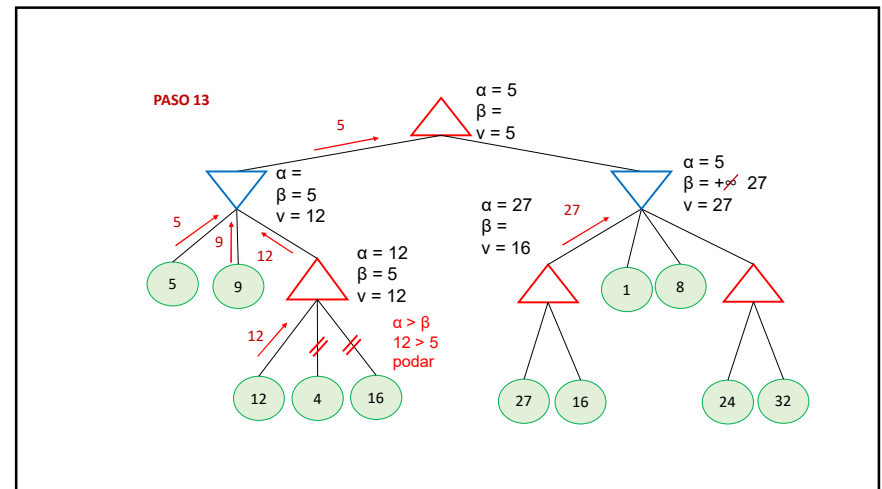
97



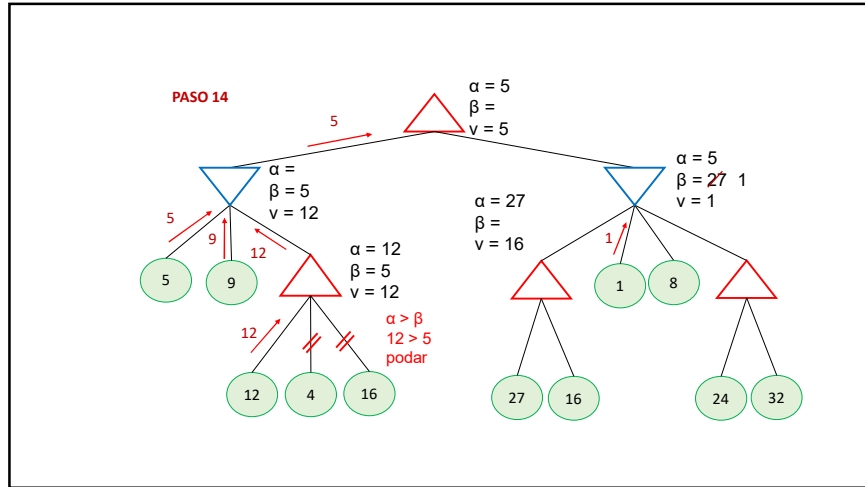
98



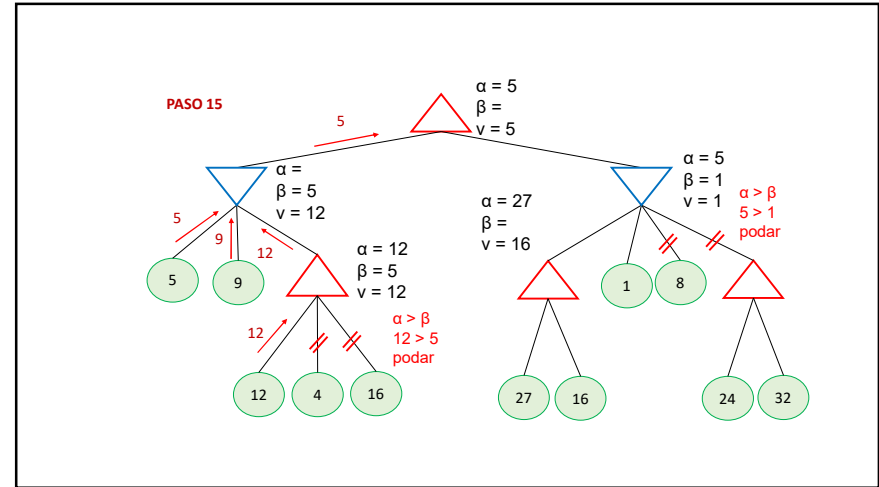
99



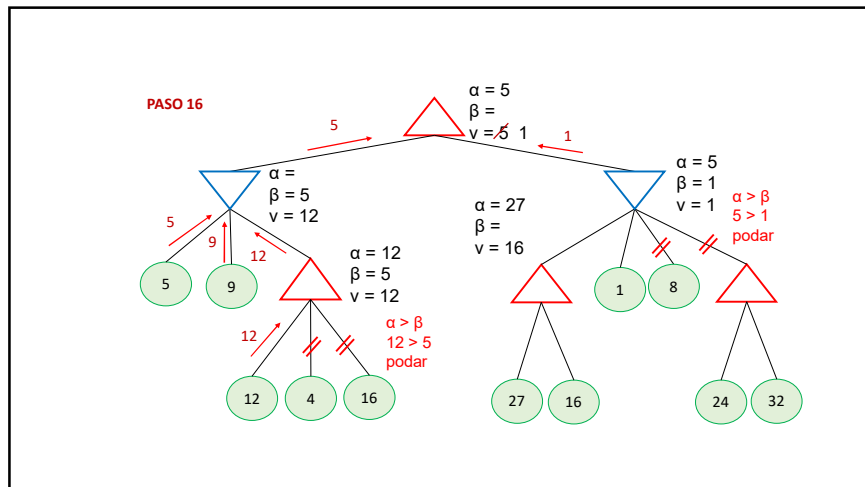
100



101



102



103

<ul style="list-style-type: none"> • Formulación del objetivo • Formulación del problema 	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda • Solución 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución de la solución
--	--	--

PROBLEMAS Y ESPACIOS DE ESTADOS

En Inteligencia Artificial, muchos de los problemas deben encontrar soluciones a través de un proceso de búsqueda en un espacio de estados. Estos problemas del mundo real generalmente son complejos, por lo que se requiere de una representación del conocimiento, la cual permite definir de manera formal el problema. En resumen, la Inteligencia Artificial es una combinación de dos factores: representación del conocimiento y búsqueda.

104

Definición del problema mediante una búsqueda en espacio de estados

Un problema de búsqueda definido mediante una búsqueda en espacio de estados se caracteriza por tener:

- Un **estado inicial** que es el estado desde el cual se inicia la búsqueda.
- Un conjunto de **operadores** que transforman un estado a otro distinto.
- Un **estado final** que es el objetivo que se quiere alcanzar.

El objetivo del proceso es llevar al sistema de su estado inicial a un estado final utilizando una secuencia de operadores. Además, el problema cuenta con algunos criterios que permiten especificar la calidad de una solución aceptable.

105

Los sistemas de producción

Muchos sistemas en Inteligencia Artificial tienen una arquitectura que hace una clara separación entre sus componentes. Los sistemas de producción son parte de esta generalización formal y estos proveen pasos para resolver problemas a través de la descripción de una cadena de deducciones.

El formalismo de los sistemas de producción se basa en dos elementos:

- **Hechos:** son proposiciones o predicados.
- **Reglas:** son expresiones condicionales donde el consecuente es usualmente un predicado atómico o una acción.

106

Componentes de un sistema de producción

Un sistema de producción tiene tres componentes básicos:

- **Conjunto de reglas o producciones:** Una regla es un par condición-acción y define una sola porción del conocimiento utilizado para la resolución de problemas.
- **Base de conocimiento:** Contiene una descripción del estado actual del mundo. Esta descripción contiene cualquier información que sea relevante para el problema dado.
- **Sistema de control:** Determina el orden en el que las reglas son aplicadas y provee una forma de resolver cualquier conflicto que pueda surgir cuando varias reglas coinciden a la vez.

107

Estructura de una regla de producción

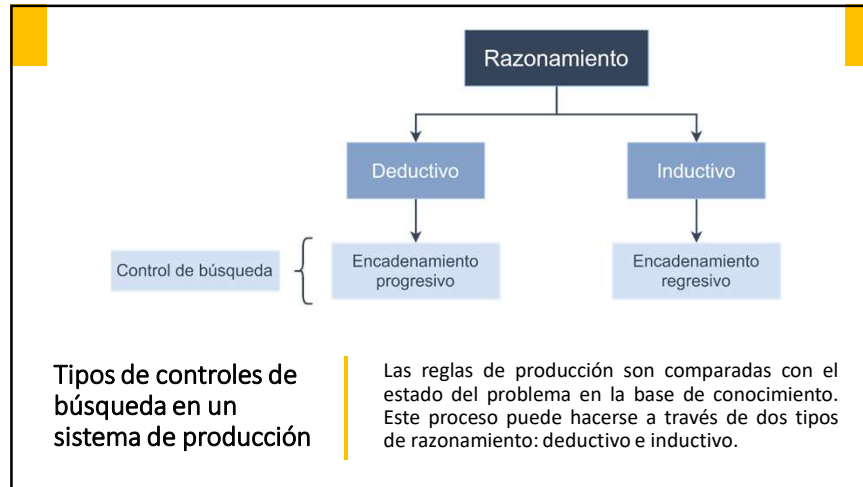
Una regla de producción permite representar un elemento mínimo de conocimiento a través de un modelo formal y se presenta de la forma: SI una cierta condición es satisfecha ENTONCES se hace lo siguiente. Así mismo, la condición o premisa de la regla puede tener conectivos lógicos como AND y OR.

SI <condición> ENTONCES <acción/conclusión>

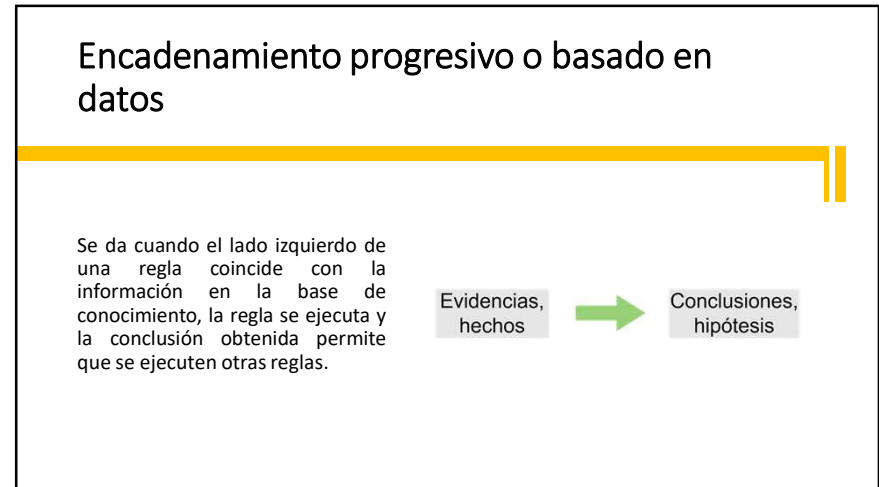
SI <condición> ENTONCES <acción/conclusión>

ANTECEDENTE CONSECUENTE

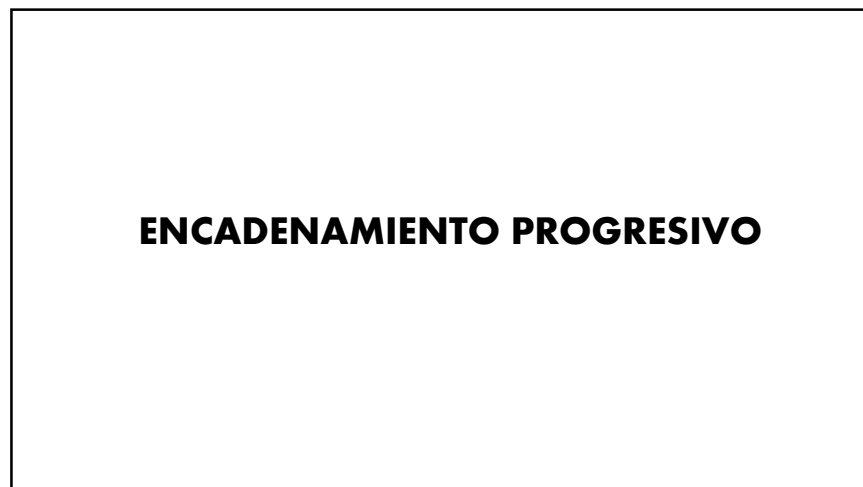
108



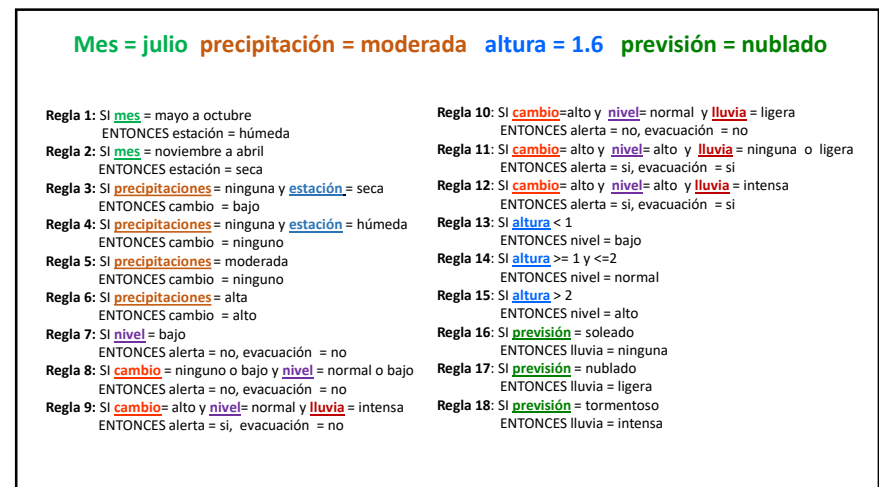
109



110



111



112

PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 1, 5, 14, 17

Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

113

PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 1, 5, 14, 17
REGLAS SELECCIONADA: 1 (EL NÚMERO MENOR)

Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

114

PASO 1 REGLAS QUE APLICAN: 1, 5, 14, 17
REGLAS SELECCIONADA: 1 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: ESTACIÓN = HUMEDA

Mes = julio precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

115

PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 5, 14, 17
HECHOS DERIVADOS: ESTACIÓN = HUMEDA

precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

116

PASO 2 **REGLAS QUE APLICAN: 5, 14, 17**
REGLAS SELECCIONADA: 5 (EL NÚMERO MENOR)

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA

precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

<p>Regla 1: Si mes = mayo a octubre ENTONCES estación = húmeda</p> <p>Regla 2: Si mes = noviembre a abril ENTONCES estación = seca</p> <p>Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca ENTONCES cambio = bajo</p> <p>Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 5: Si precipitaciones = moderada ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 6: Si precipitaciones = alta ENTONCES cambio = alto</p> <p>Regla 7: Si nivel = bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = no</p>	<p>Regla 10: Si cambio=alto y nivel= normal y lluvia = ligera ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 11: Si cambio= alto y nivel=alto y lluvia = ninguna o ligera ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 12: Si cambio= alto y nivel = alto y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 13: Si altura < 1 ENTONCES nivel = bajo</p> <p>Regla 14: Si altura >= 1 y <=2 ENTONCES nivel = normal</p> <p>Regla 15: Si altura > 2 ENTONCES nivel = alto</p> <p>Regla 16: Si previsión = soleado ENTONCES lluvia = ninguna</p> <p>Regla 17: Si previsión = nublado ENTONCES lluvia = ligera</p> <p>Regla 18: Si previsión = tormentoso ENTONCES lluvia = intensa</p>
---	--

117

PASO 2 **REGLAS QUE APLICAN: 5, 14, 17**
REGLAS SELECCIONADA: 5 (EL NÚMERO MENOR)

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO

precipitación = moderada altura = 1.6 previsión = nublado

<p>Regla 1: Si mes = mayo a octubre ENTONCES estación = húmeda</p> <p>Regla 2: Si mes = noviembre a abril ENTONCES estación = seca</p> <p>Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca ENTONCES cambio = bajo</p> <p>Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 5: Si precipitaciones = moderada ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 6: Si precipitaciones = alta ENTONCES cambio = alto</p> <p>Regla 7: Si nivel = bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 9: Si cambio= alto y nivel= normal y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = no</p>	<p>Regla 10: Si cambio=alto y nivel= normal y lluvia = ligera ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 11: Si cambio= alto y nivel=alto y lluvia = ninguna o ligera ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 12: Si cambio= alto y nivel = alto y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 13: Si altura < 1 ENTONCES nivel = bajo</p> <p>Regla 14: Si altura >= 1 y <=2 ENTONCES nivel = normal</p> <p>Regla 15: Si altura > 2 ENTONCES nivel = alto</p> <p>Regla 16: Si previsión = soleado ENTONCES lluvia = ninguna</p> <p>Regla 17: Si previsión = nublado ENTONCES lluvia = ligera</p> <p>Regla 18: Si previsión = tormentoso ENTONCES lluvia = intensa</p>
---	--

118

PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 14, 17**

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO

altura = 1.6 previsión = nublado

<p>Regla 1: Si mes = mayo a octubre ENTONCES estación = húmeda</p> <p>Regla 2: Si mes = noviembre a abril ENTONCES estación = seca</p> <p>Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca ENTONCES cambio = bajo</p> <p>Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 5: Si precipitaciones = moderada ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 6: Si precipitaciones = alta ENTONCES cambio = alto</p> <p>Regla 7: Si nivel = bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 9: Si cambio= alto y nivel= normal y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = no</p>	<p>Regla 10: Si cambio=alto y nivel= normal y lluvia = ligera ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 11: Si cambio= alto y nivel=alto y lluvia = ninguna o ligera ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 12: Si cambio= alto y nivel = alto y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 13: Si altura < 1 ENTONCES nivel = bajo</p> <p>Regla 14: Si altura >= 1 y <=2 ENTONCES nivel = normal</p> <p>Regla 15: Si altura > 2 ENTONCES nivel = alto</p> <p>Regla 16: Si previsión = soleado ENTONCES lluvia = ninguna</p> <p>Regla 17: Si previsión = nublado ENTONCES lluvia = ligera</p> <p>Regla 18: Si previsión = tormentoso ENTONCES lluvia = intensa</p>
---	--

119

PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 14, 17**

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO

altura = 1.6 previsión = nublado

<p>Regla 1: Si mes = mayo a octubre ENTONCES estación = húmeda</p> <p>Regla 2: Si mes = noviembre a abril ENTONCES estación = seca</p> <p>Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca ENTONCES cambio = bajo</p> <p>Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 5: Si precipitaciones = moderada ENTONCES cambio = ninguno</p> <p>Regla 6: Si precipitaciones = alta ENTONCES cambio = alto</p> <p>Regla 7: Si nivel = bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 9: Si cambio= alto y nivel= normal y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = no</p>	<p>Regla 10: Si cambio=alto y nivel= normal y lluvia = ligera ENTONCES alerta = no, evacuación = no</p> <p>Regla 11: Si cambio= alto y nivel=alto y lluvia = ninguna o ligera ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 12: Si cambio= alto y nivel = alto y lluvia = intensa ENTONCES alerta = si, evacuación = si</p> <p>Regla 13: Si altura < 1 ENTONCES nivel = bajo</p> <p>Regla 14: Si altura >= 1 y <=2 ENTONCES nivel = normal</p> <p>Regla 15: Si altura > 2 ENTONCES nivel = alto</p> <p>Regla 16: Si previsión = soleado ENTONCES lluvia = ninguna</p> <p>Regla 17: Si previsión = nublado ENTONCES lluvia = ligera</p> <p>Regla 18: Si previsión = tormentoso ENTONCES lluvia = intensa</p>
---	--

120

PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 14, 17**
REGLAS SELECCIONADA: 14 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: NIVEL = NORMAL

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL

altura = 1.6 previsión = nublado

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**=alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

121

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 8, 17**
REGLAS SELECCIONADA: 8 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: NIVEL = NORMAL

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL

previsión = nublado

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio**= alto y **nivel**= normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**=alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

122

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 8, 17**
REGLAS SELECCIONADA: 8 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: NIVEL = NORMAL

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL

previsión = nublado

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio**= alto y **nivel**= normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**=alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

123

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 8**
REGLAS SELECCIONADA: 8 (EL NÚMERO MENOR)
HECHO DERIVADO: ALERTA = NO, EVACUACIÓN = NO

HECHOS DERIVADOS:
ESTACIÓN = HUMEDA
CAMBIO = NINGUNO
NIVEL = NORMAL
LLUVIA = LIGERA

previsión = nublado

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio**= alto y **nivel**= normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio**=alto y **nivel**= normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio**= alto y **nivel**=alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio**= alto y **nivel**= alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <=2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

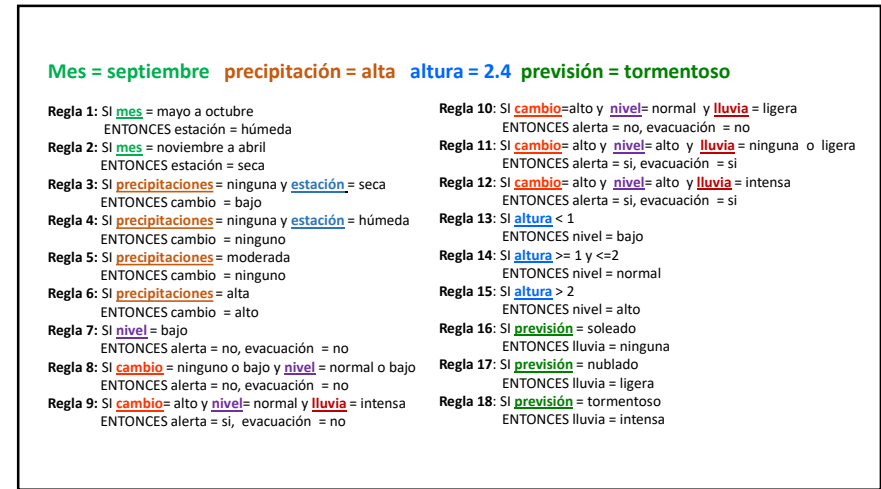
Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

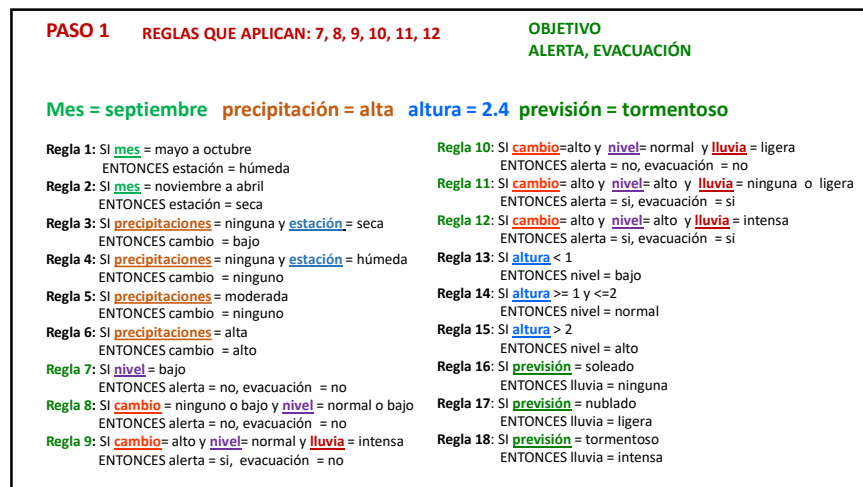
124



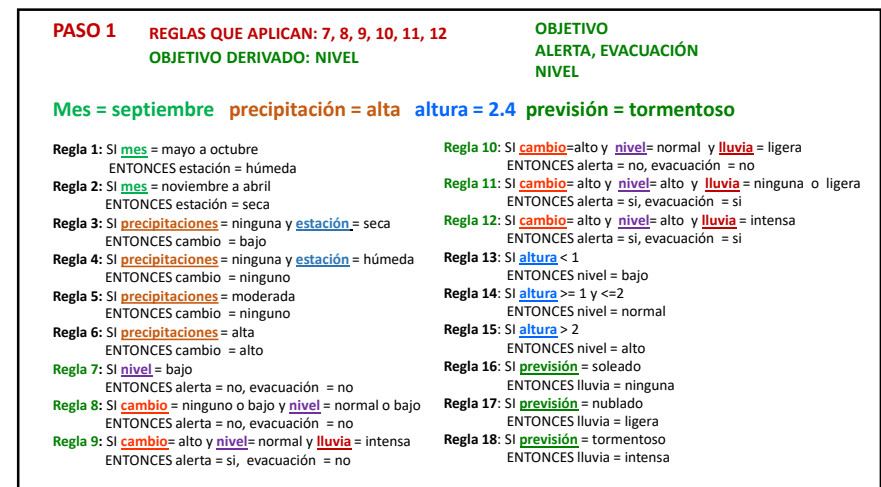
125



126



127



128

PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 **OBJETIVO**
ALERTA, EVACUACIÓN
NIVEL

Mes = septiembre precipitación = alta altura = 2.4 previsión = tormentoso

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

129

PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 **OBJETIVO**
REGLAS SELECCIONADA: 15 ALERTA, EVACUACIÓN
NIVEL

Mes = septiembre precipitación = alta altura = 2.4 previsión = tormentoso

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

130

PASO 2 REGLAS QUE APLICAN: 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 15 ALERTA, EVACUACIÓN **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: NIVEL = ALTO

Mes = septiembre precipitación = alta altura = 2.4 previsión = tormentoso

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

131

PASO 3 REGLAS QUE APLICAN: 11, 12 **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
ALERTA, EVACUACIÓN **NIVEL = ALTO**

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

Regla 1: Si mes = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si mes = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si precipitaciones = ninguna y estación = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si precipitaciones = ninguna y estación = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si precipitaciones = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si precipitaciones = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si nivel = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si cambio = ninguno o bajo y nivel = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si cambio = alto y nivel = normal y lluvia = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si cambio = alto y nivel = alto y lluvia = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si altura < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si altura >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si altura > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si previsión = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si previsión = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si previsión = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

132

PASO 3 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
OBJETIVO DERIVADO: CAMBIO **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
CAMBIO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

133

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 3, 4, 5, 6** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
ALERTA, EVACUACIÓN **NIVEL = ALTO**
CAMBIO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

134

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 3, 4, 5, 6** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 6 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
CAMBIO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

135

PASO 4 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 3, 4, 5, 6** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 6 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: CAMBIO = ALTO

Mes = septiembre precipitación = alta previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
ENTONCES lluvia = intensa

136

PASO 6 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12, 16, 17, 18** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 18 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: LLUVIA = INTENSA **CAMBIO = ALTO**
LLUVIA = INTENSA

Mes = septiembre previsión = tormentoso

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

141

PASO 7 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 11, 12 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: LLUVIA = INTENSA
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

Mes = septiembre

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

142

PASO 7 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 12 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: LLUVIA = INTENSA
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

Mes = septiembre

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

143

PASO 7 **REGLAS QUE APLICAN: 11, 12** **OBJETIVO** **HECHOS DERIVADOS:**
REGLAS SELECCIONADA: 12 **ALERTA, EVACUACIÓN** **NIVEL = ALTO**
HECHO DERIVADO: ALERTA = SI, EVACUACIÓN = SI
LLUVIA = INTENSA
CAMBIO = ALTO
LLUVIA = INTENSA

Mes = septiembre

Regla 1: Si **mes** = mayo a octubre
 ENTONCES estación = húmeda

Regla 2: Si **mes** = noviembre a abril
 ENTONCES estación = seca

Regla 3: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = seca
 ENTONCES cambio = bajo

Regla 4: Si **precipitaciones** = ninguna y **estación** = húmeda
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 5: Si **precipitaciones** = moderada
 ENTONCES cambio = ninguno

Regla 6: Si **precipitaciones** = alta
 ENTONCES cambio = alto

Regla 7: Si **nivel** = bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 8: Si **cambio** = ninguno o bajo y **nivel** = normal o bajo
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 9: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = no

Regla 10: Si **cambio** = alto y **nivel** = normal y **lluvia** = ligera
 ENTONCES alerta = no, evacuación = no

Regla 11: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = ninguna o ligera
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 12: Si **cambio** = alto y **nivel** = alto y **lluvia** = intensa
 ENTONCES alerta = si, evacuación = si

Regla 13: Si **altura** < 1
 ENTONCES nivel = bajo

Regla 14: Si **altura** >= 1 y <= 2
 ENTONCES nivel = normal

Regla 15: Si **altura** > 2
 ENTONCES nivel = alto

Regla 16: Si **previsión** = soleado
 ENTONCES lluvia = ninguna

Regla 17: Si **previsión** = nublado
 ENTONCES lluvia = ligera

Regla 18: Si **previsión** = tormentoso
 ENTONCES lluvia = intensa

144

Características del Programa

Los sistemas de producción proveen las técnicas ideales para la representación de heurísticas, que son específicas del dominio, a través de reglas de la forma SI-ENTONCES. Algunas heurísticas son usadas para definir la estructura de control que guía el proceso de búsqueda, pero también pueden ser usadas para codificar las reglas que representan el conocimiento del dominio.

145

Características del Sistema de Producción

Los sistemas de producción proveen una forma útil de describir las operaciones que pueden realizarse en la búsqueda de una solución a un problema. Para describir un sistema de producción de acuerdo con sus características, conviene definir los tipos de sistemas de producción:

- **Monótono:** La aplicación de una regla no impide la aplicación posterior de otra regla que pudo aplicarse en el momento en el que se seleccionó la primera regla.
- **No monótono:** La aplicación de una regla impide la aplicación posterior de otra regla que pudo aplicarse en el momento en el que se seleccionó la primera regla.
- **Parcialmente conmutativo:** Si la aplicación de una secuencia particular de reglas transforma un estado P en un estado Q, entonces cualquier combinación de esas reglas que esté permitida también transforma otro estado P en un estado Q.
- **Conmutativo:** Es un sistema de producción que es tanto monótono como parcialmente conmutativo.

146

REPRESENTACIÓN Y MÉTODOS

Una representación del conocimiento es un conjunto de conclusiones acerca de cómo describir una clase de cosas. Encontrar una forma apropiada de representación del conocimiento es uno de los principales objetivos en la resolución de problemas. Por ello, se tiene como principio que una vez que se haya descrito un problema a través de una representación apropiada, el problema está casi resuelto.

Las características de una buena representación son:

- Muestra de forma explícita los objetos y relaciones importantes.
- Expone las restricciones naturales propios del problema. Expresan de qué manera un objeto o relación influencia otro.
- Une a los objetos y a las relaciones, porque se puede ver todo lo que se necesita de una sola vez.
- Suprime detalles irrelevantes.
- Es transparente, porque se puede entender fácilmente lo que se representa.
- Es completa, porque especifica todo lo que se necesita decir sobre el problema.
- Es concisa, porque muestra todo lo que se necesita decir de forma eficiente.
- Es rápida, porque se puede almacenar y recuperar información rápidamente.
- Son computables, porque se pueden crear con un procedimiento existente.

147

Redes semánticas y el método de descripción y pareamiento

Redes semánticas

Inicialmente, las redes semánticas se utilizaban principalmente para la comprensión del lenguaje natural, donde la semántica o el significado de las palabras asociadas en una oración eran extraídas para emplearlas en este tipo de representación del conocimiento. Posteriormente, las redes semánticas empezaron a aplicarse en una gran variedad de aplicaciones relacionadas al razonamiento en sistemas basados en el conocimiento dentro de la Inteligencia Artificial.

Una red semántica es un modelo de representación del conocimiento compuesto por nodos y enlaces entre los nodos.

- **Nodos:** Denotan objetos, conceptos, rasgos, eventos, tiempo. Se representan con círculos.
- **Arcos:** Denotan las relaciones entre los nodos. Estos se representan como flechas.

148

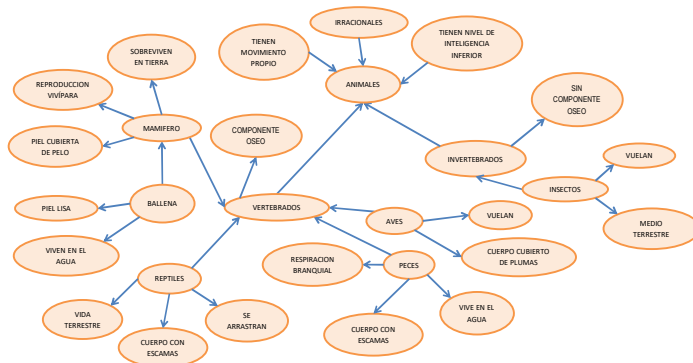
Representar el siguiente conocimiento utilizando una red semántica

- Los animales son irracionales y se clasifican en vertebrados e invertebrados.
- Los vertebrados poseen componente óseo y los invertebrados no.
- Los animales tienen movimiento propio y tienen nivel de inteligencia inferior.
- Los mamíferos son vertebrados con reproducción vivípara, sobreviven en tierra y tienen la piel cubierta de pelo.
- Los reptiles son vertebrados de vida terrestre, cuerpo con escamas y se arrastran.
- Las aves son vertebrados, vuelan y son cuerpos cubiertos de plumas.
- Los peces son vertebrados con respiración branquial, cuerpo con escamas y medio de vida el agua.
- Los insectos son invertebrados, vuelan y su medio es terrestre.
- La ballena es un mamífero, con piel lisa y vive en el agua.

149

RED SEMANTICA

150



151

Generación y prueba, método de análisis de medios y metas, y el método de reducción del problema

En esta sección se describirán tres métodos utilizados para la resolución de problemas. Estos métodos han evolucionado y pueden ser aplicados a una amplia variedad de tareas dentro de la Inteligencia Artificial. Estos métodos se enfocan en la forma que se representa, manipula y razona el conocimiento con fin de encontrar la solución de un determinado problema.

Generación y prueba

- Generación y prueba es un paradigma que utiliza dos módulos básicos:
 - **Un generador:** Enumera las posibles soluciones del problema.
 - **Un evaluador:** Evalúa cada solución propuesta y la acepta o la rechaza.

152

Método de análisis de medios y metas

El método de análisis de medios y metas toma como base un espacio de estado. El estado de un sistema es una descripción que es suficiente para determinar el futuro. En un espacio de estado, cada nodo denota un estado y cada arco denota una posible transición de un paso desde un estado hacia otro.

Método de reducción del problema: Muchas veces es posible convertir objetivos difíciles en uno o más subobjetivos más fáciles de alcanzar, y a su vez, cada subobjetivo se divide en otros objetivos más pequeños. El método de reducción del problema permite reconocer las metas u objetivos y convertirlos en subobjetivos apropiadas. Por ello, este método también es denominado reducción de objetivos.

153

Reglas y encadenamiento de reglas

Una de las maneras en la que se puede mostrar lo que pueden hacer las reglas es a través de un diagrama denominado red de inferencia.

A veces, es útil mirar parte de una red de inferencia para responder preguntas sobre por qué se utilizó una afirmación o cómo se estableció una afirmación. Gran parte de esta capacidad se basa en la naturaleza simple y altamente restringida de las reglas.

154

Plantilla y herencia

Las plantillas o frames (en inglés) son un método útil de representación del conocimiento conocido como el sentido común, dado que este es un área difícil de dominar para las computadoras.

Una plantilla se compone de un grupo de ranuras (slots en inglés) y rellenos (fillers en inglés) que definen un objeto.

- Ranuras: Representan atributos.
- Rellenos: Contienen valores o procedimientos para calcular valores.

Una plantilla por sí mismo no es muy útil. Sin embargo, cuando varias plantillas se conectan unas con otras se forma un sistema de plantillas que aportan conocimiento.

155

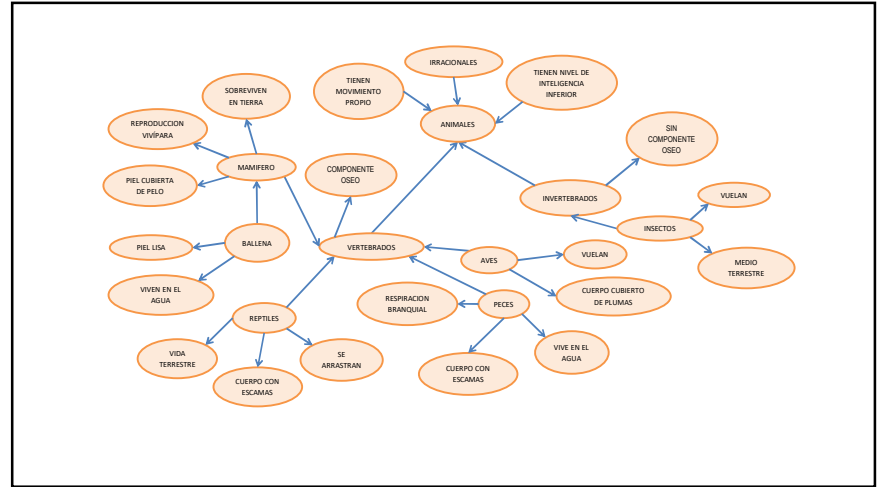
Representar el siguiente conocimiento utilizando una red semántica

- Los animales son irracionales y se clasifican en vertebrados e invertebrados.
- Los vertebrados poseen componente óseo y los invertebrados no.
- Los animales tienen movimiento propio y tienen nivel de inteligencia inferior.
- Los mamíferos son vertebrados con reproducción vivípara, sobreviven en tierra y tienen la piel cubierta de pelo.
- Los reptiles son vertebrados de vida terrestre, cuerpo con escamas y se arrastran.
- Las aves son vertebrados, vuelan y sus cuerpos están cubiertos de plumas.
- Los peces son vertebrados con respiración branquial, cuerpo con escamas y medio de vida el agua.
- Los insectos son invertebrados, vuelan y su medio es terrestre.
- La ballena es un mamífero, con piel lisa y vive en el agua.

156

RED SEMANTICA

157



158

PLANTILLAS

159

Frame	Animal
Tipo	Superior
Movimiento	Propio
Razonamiento	No
Inteligencia	Inferior

Frame	Vertebrados
Tipo	Animal
Componente Óseo	Si

Frame	Aves
Tipo	Vertebrado
Movimiento	Vuelo
Cuerpo	Con plumas

Frame	Invertebrados
Tipo	Animal
Componente Óseo	No

Frame	Reptiles
Tipo	Vertebrado
Movimiento	Se arrastra
Viven	Tierra
Cuerpo	Con escamas

Frame	Mamifero
Tipo	Vertebrado
Reproducción	Viviparo
Viven	Tierra
Piel	Con pelos

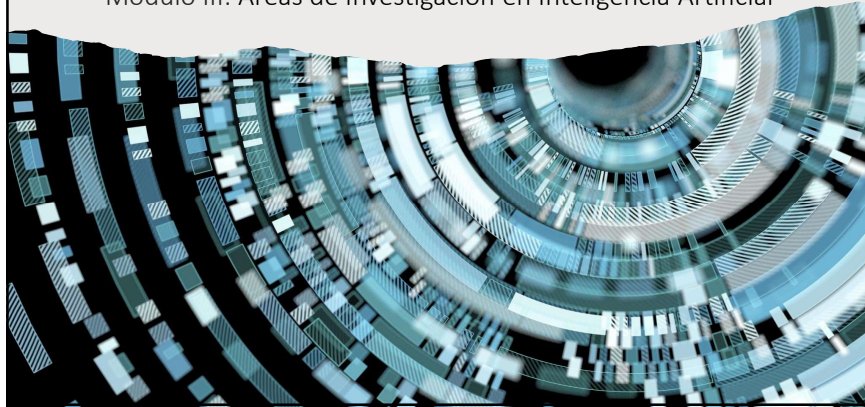
Frame	Insecto
Tipo	Invertebrado
Movimiento	Vuelo
Medio de vida	Terrestre

Frame	Peces
Tipo	Vertebrado
Respiración	Branquial
Medio de vida	Acuático
Cuerpo	Con escamas

Frame	Ballena
Tipo	Mamifero
Viven	Agua
Piel	Lisa

160

Modulo III: Áreas de Investigación en Inteligencia Artificial

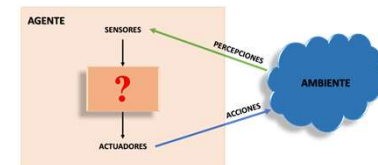


161

AGENTES INTELIGENTES

Definiciones

- Un **agente** puede definirse como una entidad que percibe su ambiente a través de sensores y actúa sobre este a través de actuadores. A continuación, se definen cada uno de estos términos.
- **Sensores:** Dispositivos que le permiten al agente recibir estímulos de su ambiente y convertirlos en percepciones.
- **Actuadores:** Dispositivos que le permiten al agente convertir comandos en acciones.



162

Proceder de un Agente Inteligente

El agente inteligente genera una secuencia de acciones de acuerdo con las percepciones que recibe y a su vez, esa secuencia de acciones causa que el ambiente pase por una secuencia de estados. Si la secuencia es deseable, el agente actúa bien.

El proceder de un agente inteligente consiste en seleccionar una acción para cada posible secuencia de percepción. Se espera que la acción escogida maximice su rendimiento, dada la evidencia provista por la secuencia de percepción y cualquier conocimiento incorporado. Sin embargo, la secuencia de percepción no siempre provee toda la información relevante.

163



Estructura de un Agente Inteligente

La Inteligencia Artificial permite diseñar el programa que implementa la función del agente, es decir, la función que permite mapear las percepciones con las acciones. El programa se ejecuta en algún tipo de arquitectura física, que no es más que un dispositivo computacional con actuadores y sensores.

164

Tipos de Agentes Inteligentes

Los agentes inteligentes pueden clasificarse en cuatro tipos básicos:

Agentes reactivos

- Los agentes reactivos son los tipos de agentes más simples. Su función se basa en seleccionar acciones basadas en la percepción actual de su entorno e ignorar el resto de la historia de percepciones.

Agentes reactivos basados en modelos

- Los agentes reactivos basados en modelos utilizan conocimiento sobre el funcionamiento de su entorno, es decir, utilizan un modelo para hacer un seguimiento de las partes del mundo que no pueden ser observadas en ese instante.

Agentes basados en objetivos

- Los agentes basados en objetivos son aquellos que utilizan como información un objetivo o meta que describe las situaciones deseables.

Agentes basados en utilidad

- Los agentes basados en utilidad hacen uso de una función de utilidad para medir el rendimiento. La medida de rendimiento le asigna un puntaje a cualquier secuencia dada de los estados del ambiente, de modo que para el agente sea más fácil distinguir las acciones más deseables de las que no lo son.

165

Acoplar un Agente a un ambiente

El ambiente o entorno es el problema para el cual el agente inteligente será la solución. Se debe especificar el entorno de tareas que incluye la medida de rendimiento, el ambiente y los sensores y actuadores del agente. Esto se conoce como PEAS, por sus siglas en inglés, y corresponde a Rendimiento, Ambiente, Actuadores, Sensores.

166

Lenguajes para la construcción de Agentes

Los lenguajes de programación orientados a agentes, (AOP por sus siglas en inglés), permiten desarrollar tecnología basada en agentes y la implementación de sistemas de este tipo. Estos lenguajes proporcionan abstracciones y construcciones de alto nivel que permiten la implementación directa y el uso de conceptos relacionados con agentes, así como la estructuración de la toma de decisiones. Por lo general, estos tipos de lenguajes proveen un framework de programación intuitivo, basado en el razonamiento simbólico o práctico.

167

SISTEMA EXPERTO

Un sistema experto es un software de Inteligencia Artificial que utiliza el conocimiento almacenado en una base de conocimiento para resolver problemas que generalmente requiere de un experto humano.

Un sistema experto consta de los siguientes componentes:

- Base de conocimiento:** representa los hechos y las reglas. Contiene conocimiento en dominios específicos junto con reglas para resolver problemas y los procedimientos que son relevantes para el dominio.
- Motor de inferencia:** la función más es adquirir datos relevantes de la base de conocimiento, interpretarlos y encontrar una solución según el problema del usuario.
- Módulo de adquisición y aprendizaje de conocimientos:** permite que los sistemas expertos adquieran más datos de varias fuentes y los almacenen en la base de conocimientos.
- Interfaz de usuario:** es el medio de comunicación con el usuario. Es esencial para que un usuario no experto interactúe con el sistema experto y encuentre soluciones.
- Módulo de explicación:** explica las acciones que realizó el sistema para alcanzar la conclusión.

168

Representación y uso del conocimiento del dominio

- La representación del conocimiento es el método utilizado para formalizar y organizar el conocimiento en la base de conocimiento. Una representación ampliamente utilizada es la regla de producción, o simplemente la regla.
- Los sistemas expertos cuyo conocimiento se representa en forma de reglas se denominan sistemas basados en reglas. En los mismos, el conocimiento está representado por **reglas de producción**, en donde, cada regla está formada por una condición o premisa representada por un **SI** y una acción o conclusión representada por un **ENTONCES**.

169

Armazones de sistemas expertos

Son sistemas que contienen los métodos útiles para representar el conocimiento, hacer deducciones o generar explicaciones son ningún conocimiento específico. A estos sistemas se les conoce como sistemas Shell (armazón, concha o carcaza), o simplemente herramientas soporte de la Inteligencia Artificial. Estos sistemas funcionan sin una base de conocimiento y proporcionan a los desarrolladores la adquisición de conocimiento, el motor de inferencia, la interfaz de usuario y la facilidad de explicación.

170

Adquisición de Conocimiento

Un sistema experto adquiere el conocimiento relevante de su base de conocimiento y lo interpreta según el problema del usuario. Los datos en la base de conocimiento son esencialmente agregados por humanos expertos en un dominio particular.

El módulo de adquisición de conocimiento permite a los expertos modificar la base del conocimiento para actualización o corrección de errores en la base de conocimiento.

171

Ejemplo e Historia

Existen muchos ejemplos de sistemas expertos, en esta sección solo se mencionarán algunos de ellos:

- **MYCIN**: Este fue uno de los primeros sistemas expertos que se basó en el encadenamiento hacia atrás. Tiene la capacidad de identificar varias bacterias que causan infecciones graves. También es capaz de recomendar medicamentos basados en el peso de una persona.
- **DENDRAL**: Este fue un sistema experto basado en Inteligencia Artificial utilizado esencialmente para análisis químicos. Utiliza los datos espectrográficos de una sustancia para predecir su estructura molecular.
- **R1 / XCON**: este sistema experto tenía la capacidad de seleccionar un software específico para generar un sistema informático según las preferencias del usuario.
- **PXDES**: este sistema podría determinar fácilmente el tipo y el grado de cáncer de pulmón en pacientes basándose en datos limitados.
- **CaDet**: este es un sistema de apoyo clínico que identifica el cáncer en las primeras etapas.
- **DXplain**: este también es un sistema de apoyo clínico que es capaz de sugerir una variedad de enfermedades basadas solo en los hallazgos del médico.

172

Ejemplo e Historia

- Podemos ubicar el inicio de los sistemas expertos a mediados de los años sesenta cuando algunos investigadores decidieron cambiar por completo el enfoque del problema del programa llamado GPS (General Problem Solver, solucionador general de problemas) desarrollado por Alan Newell y Herbert Simon para que pudiera simular el razonamiento de un experto humano. El GPS podía trabajar con criptoaritmética, con las torres de Hanoi y con otros problemas similares, pero no podía resolver problemas del mundo real. La idea de este cambio de enfoque les permitió centrarse en dominios de conocimiento muy concretos. De esta manera nacieron los sistemas expertos.
- Edward Feigenbaum y su equipo, en 1965, comenzaron a desarrollar sistemas expertos utilizando bases de conocimiento en un dominio concreto. Este trabajo produjo sus frutos en 1967 cuando se construye DENDRAL, el primer sistema experto utilizado para propósitos reales. DENDRAL tuvo un gran éxito entre químicos y biólogos porque era capaz de identificar estructuras químicas moleculares a partir de su análisis espectrográfico.

173

Ejemplo e Historia

- En la década de los setenta se desarrolló MYCIN, un sistema experto orientado a la investigación y determinación de diagnósticos en el campo de las enfermedades infecciosas de la sangre. Este sistema introdujo nuevas características: utilización de conocimiento impreciso para razonar y posibilidad de explicar el proceso de razonamiento.
- En MYCIN aparecen claramente diferenciados el motor de inferencia y la base de conocimientos. Al separar esas dos partes, se puede considerar el motor de inferencias aisladamente. Esto da como resultado un sistema vacío o shell (concha). Así surgió EMYCIN (MYCIN Esencial) con el que se construyó SACON, utilizado para estructuras de ingeniería, PUFF para estudiar la función pulmonar y GUIDON para elegir tratamientos terapéuticos.
- En esa época se desarrollaron también: HERSAY, que intentaba identificar la palabra hablada, y PROSPECTOR, utilizado para hallar yacimientos de minerales.
- En la década de los ochenta se ponen de moda los sistemas expertos, numerosas empresas de alta tecnología investigan en esta área de la inteligencia artificial, desarrollando sistemas expertos para su comercialización.

174

Ventaja de los sistemas expertos

- Algunas de las ventajas de los Sistemas Expertos son:
- **Disponibilidad:** están fácilmente disponibles debido a la producción en masa de software.
 - **Menor costo de producción:** los costos de producción de los sistemas expertos son extremadamente razonables y asequibles.
 - **Velocidad:** ofrecen una gran velocidad y reducen la cantidad de trabajo.
 - **Menos tasa de error:** la tasa de error es mucho más baja en comparación con los errores humanos.
 - **Riesgos bajos:** son capaces de trabajar en entornos peligrosos para los humanos.
 - **Respuesta constante:** evitan movimientos, tensiones y fatigas.

175

Proyectos con bases de conocimientos muy grandes

Bases de conocimiento muy grandes (VLKB) se han desarrollado para solucionar las restricciones que existen en las Bases de conocimientos de los Sistemas Expertos mediante las mejoras en las técnicas y tecnología de la computación utilizadas. Entre ellas podemos mencionar:

- Excesivo tiempo de respuesta: problemas sencillos eran resueltos más rápidos por lo humanos que por los sistemas.
- Dominio Restringido, las bases de conocimiento construidas tenían un dominio donde podían actuar y si se salía de éste podría dar resultados erróneos o no satisfactorios.

176

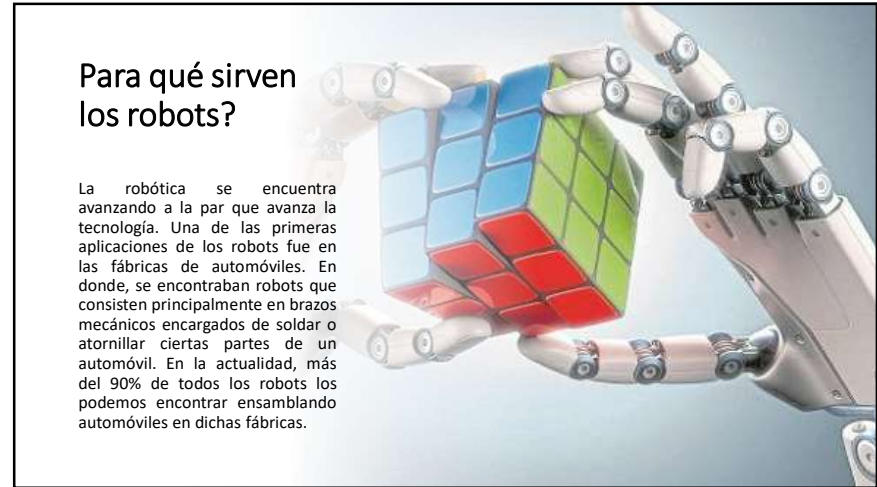


ROBÓTICA

Introducción

- La robótica es la disciplina de ingeniería que se ocupa del diseño, construcción y operación de robots. Es la intersección de la ciencia, la ingeniería y la tecnología para producir robots que sustituyan (o repliquen) las acciones humanas. A partir de lo antes mencionado, podemos definir un robot como cualquier máquina operada automáticamente que reemplaza el esfuerzo humano.

177



Para qué sirven los robots?

La robótica se encuentra avanzando a la par que avanza la tecnología. Una de las primeras aplicaciones de los robots fue en las fábricas de automóviles. En donde, se encontraban robots que consisten principalmente en brazos mecánicos encargados de soldar o atornillar ciertas partes de un automóvil. En la actualidad, más del 90% de todos los robots los podemos encontrar ensamblando automóviles en dichas fábricas.

178



De qué están hechos los robots?

Los robots están contruidos principalmente con materiales comunes. Algunos robots especializados para aplicaciones de sala limpia, el programa espacial u otros proyectos de "alta tecnología" pueden usar metal de titanio y compuestos estructurales de fibras de carbono. El entorno operativo y la resistencia requeridos son factores importantes en la selección de materiales.

179



Arquitectura

Algunas de las características comunes en todos los robots son:

- consisten en algún tipo de construcción mecánica que lo ayuda a completar tareas en el entorno para el que está diseñado.
- Controlan y alimentan la maquinaria utilizando componentes eléctricos que le permitan trabajar con corriente eléctrica (o una batería).
- poseen algún nivel de programación informática que le permite saber cuándo y cómo realizar una tarea.

180

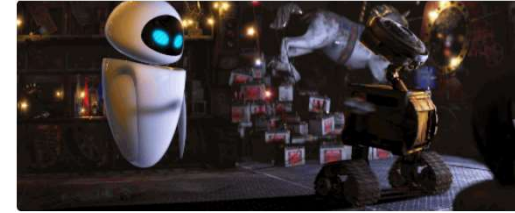


Espacios de configuración

Crear robots autónomos que acepten una descripción de la tarea que deben realizar y la ejecuten sin la intervención de los humanos es una de las metas de la robótica. Esta desafiante tarea requiere aplicar conocimientos de diferentes áreas como lo son: la percepción, el control y el razonamiento autónomo.

Para ello se deben resolver muchos problemas, uno de ellos se encuentra en el área de planeación de movimientos. En donde, se estudia la forma en la cual el robot tenga la habilidad de planear sus propios movimientos utilizando los sensores.

181



Navegación y planificación de movimientos

Podemos definir la navegación o desplazamiento como la metodología que permite guiar el curso de un robot móvil a través de un entorno con obstáculos. Existen diversos esquemas, pero todos ellos tienen como objetivo llevar el robot a su destino de forma segura.

182



VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es un campo de inteligencia artificial que entrena a las computadoras para interpretar y comprender el mundo visual. El objetivo es extraer características de una imagen para su descripción e interpretación por la computadora.

Lo que se busca en Visión es obtener descripciones útiles para cada tarea a realizar, en donde, la misma necesitará modificar ciertos atributos que le permita identificar los objetos en la imagen.

183



Digitalización

La digitalización es el proceso de convertir información a un formato digital. En el formato digital la información se organiza en unidades de datos discretas (llamadas bits) que se pueden abordar por separado (generalmente en grupos de múltiples bits llamados bytes).

184

Procedimiento bajo Nivel

En el procedimiento de bajo nivel se trabaja directamente con las imágenes para extraer propiedades como discontinuidades u orillas, gradiente y profundidad, textura, color, entre otros, de tal forma que sean de mayor utilidad para los siguientes niveles de visión. De esta forma, se obtiene una nueva imagen por cada característica que se extraiga de la imagen original. Para realizar esta tarea, es necesario pasar por distintas etapas de procesamiento y filtrado donde se analiza la imagen y se adecua para cierta aplicación específica.

185

Recuperación de información tridimensional

Cuando se proyecta un objeto del mundo tridimensional (3-D) a una imagen bidimensional (2-D) perdemos información en dicha transformación ya que una línea en 3-D se convierte en un punto en la imagen.

- **Visión estereoscópica:** se utilizan dos o más cámaras para determinar la geometría de la escena.
- **Forma de sombreado:** se trata de obtener información de profundidad (3-D) a partir de los cambios de intensidad o sombreado del objeto
- **Forma de Textura:** nos permite determinar el gradiente o profundidad relativa de una superficie

186

Algoritmo de Waltz

- El algoritmo de filtrado de Waltz analiza dibujos lineales asignando una etiqueta a cada uno de los bordes. La etiqueta de línea se selecciona de un conjunto finito de posibles etiquetas. Cada etiqueta proporciona información semántica específica sobre la naturaleza del borde y las regiones en cada uno de sus lados.
- Waltz propuso inicialmente el algoritmo de filtrado como una forma de reducir la combinatoria asociada con el etiquetado lineal de escenas tridimensionales. El algoritmo popularizó la técnica de propagación de restricciones y se conoce como
- Algoritmo de filtrado de Waltz. Este algoritmo reduce sustancialmente la búsqueda al podar el espacio de búsqueda desde el principio utilizando restricciones específicas del dominio.

187

Visión Activa

Consiste en la elaboración de estrategias de control para ajustar los parámetros de entrada con la finalidad de mejorar el conocimiento que se tiene del entorno. Algunas estrategias que pueden aplicarse para desarrollar un sistema de visión activa son:

- **Control de los parámetros del sistema de visión:** utilizado para adaptar las imágenes a la tarea que se va a realizar. El objetivo es adquirir múltiples vistas de la escena y extraer de cada una pocas características con algoritmos simples mediante el control de ciertos parámetros como pueden ser: la resolución y las condiciones de iluminación, el ángulo de vergencia, el zoom, el foco y apertura de la lente, el movimiento y posición de la cámara.
- **Reducción selectiva mediante mecanismos atencionales:** se enfoca en obtener la información relevante para cada una de las tareas visuales que se deben realizar. Determinar qué parte de la información es la de utilidad y cuál se puede obviar para cada tarea constituye el mayor desafío para utilizar esta estrategia.
- **Reducción selectiva mediante sensores con resolución variante en espacio:** efectúan una reducción selectiva en espacio, resolución y tiempo. Esto les permite discriminar entre los datos contenidos en las imágenes de resolución

188

Reconocimiento de objetos y escenas, y descripción de imágenes

Para reconocer los objetos cuya descripción se ha obtenido de la imagen se utiliza la visión basada en modelos. Este reconocimiento se logra mediante la utilización de una serie de modelos geométricos predefinidos.

Los componentes principales de la visión basada en modelos son:

- **Extracción de características:** consiste en la obtención de información de forma de la imagen para construir una descripción geométrica.
- **Modelado:** es la construcción de los modelos geométricos internos de los objetos de interés.
- **Correspondencia:** es el apareamiento geométrico de la descripción con el modelo interno.

189

LENGUAJE NATURAL

El procesamiento del lenguaje natural (PNL) es un método de la Inteligencia Artificial para comunicarse con sistemas inteligentes que utilizan un lenguaje natural. Este implica hacer que las computadoras realicen tareas útiles con los lenguajes naturales que usan los humanos. La entrada y salida de un sistema PNL puede ser el habla o el texto escrito.

190

Procesamiento de señales

El lenguaje natural pretende conseguir que una máquina comprenda lo que expresa una persona mediante el uso de una lengua natural. Las lenguas naturales o idiomas están basados usualmente en un sistema de signos a los cuales les denominaremos símbolos categóricos.

Los símbolos categóricos de un idioma pueden codificarse como una señal de comunicación de varias maneras: sonido, gesto, escritura, imágenes, etc. En el lenguaje humano se puede usar cualquiera de estos.

El procesamiento de señales toma las palabras habladas como entrada y las convierte en texto. En este proceso se debe primero limpiar los datos de texto no estructurados mediante la tokenización de palabras.

191

Sintaxis y análisis gramatical

Las palabras son comúnmente aceptadas como las unidades más pequeñas de sintaxis. La sintaxis se refiere a los principios y reglas que rigen la estructura de las oraciones de cualquier idioma individual. Se centra en el orden adecuado de las palabras que pueden afectar su significado.

Esto implica el análisis de las palabras en una oración siguiendo la estructura gramatical de la oración. Las palabras se transforman en la estructura para mostrar cómo se relacionan las palabras entre sí.

192

Semántica y Significado

- El análisis semántico es una estructura creada por el analizador sintáctico que asigna significados. Este componente transfiere secuencias lineales de palabras en estructuras y muestra cómo se asocian las palabras entre sí.
- La semántica se enfoca solo en el significado literal de palabras, frases y oraciones. Esto solo abstrae el significado del diccionario o el significado real del contexto dado. Las estructuras asignadas por el analizador sintáctico siempre tienen un significado asignado.

193

Pragmática

El análisis pragmático es parte del proceso de extracción de información del texto. Específicamente, es la parte que se enfoca en tomar un conjunto de estructuras de texto y descubrir cuál era el significado real. Incorpora, así mismo, información sobre las relaciones que se dan entre los hechos que forman el contexto y entre diferentes entidades.

Además, añade información adicional al análisis del significado de la frase en función del contexto donde aparece. Se trata de uno de los niveles de análisis más complejos, la finalidad es incorporar al análisis semántico la aportación significativa que pueden hacer los participantes, la evolución del discurso o información presupuesta.

194

Generación de Lenguaje Natural

Es el proceso de producir frases y oraciones significativas en forma de lenguaje natural a partir de alguna representación interna. Este proceso implica tres pasos:

- **Planificación de texto:** incluye la recuperación del contenido relevante de la base de conocimiento.
- **Planificación de oraciones:** incluye elegir las palabras requeridas, formar frases significativas y establecer el tono de la oración.
- **Realización de texto:** está mapeando el plan de oración en la estructura de la oración.

El generador de lenguaje natural ayuda a la máquina a clasificar a través de muchas variables para que los datos sean comprensibles y busca automatizar la escritura de narrativas basadas en dichos datos. Su objetivo es crear sistemas informáticos capaces de producir por sí mismos textos con sentido para el ser humano.

195