

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 1= INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO; **Error! Marcador no definido.**

1.- Introducción-

2.- Sistemas basados en el conocimiento. S.E.

2.1.- Definición.

2.2.- Conceptos básicos de los S.E.

3.- Papel y necesidad del conocimiento experto

3.1.- Diferencia entre Dato,, Información y Conocimiento

3.2.- Tipos de conocimiento

3.3.- Niveles de conocimiento

3.4.- Elemento Humano de los S.E.

4.- Conceptos generales en la adquisición del conocimiento

4.1.- Introducción

4.2.- Técnicas manuales e interactivas

4.2.1.- Entrevistas.

4.2.2.- Observación

4.2.3.- Múltiples expertos

4.2.4.- Técnicas basadas en psicología

4.2.5.- Adquisición de conocimiento bajo incertidumbre.

4.3.- Aprendizaje automático.

4.4.- Aprendizaje de reglas a partir de ejemplos

4.4.1.- Tablas de decisión.

4.4.2.- Ideas finales.

4.5.- Representación del conocimiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 1

INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO

1.- Introducción.

La Inteligencia Artificial ha conseguido considerables logros en el campo de los Sistemas Expertos, hasta mediados de los 60.

Un nuevo conjunto de principios, técnicas y herramientas han surgido con la Ingeniería del Conocimiento. Esta busca, métodos y técnicas para que en el área de los Sistemas Expertos, los hombres construyan sistemas de máquinas especializadas en la resolución de problemas.

2.- Sistemas basados en el conocimiento. **SISTEMAS EXPERTOS**

2.1.- Definición

Un sistema es un programa que emplea conocimiento humano, implementado en un computador, para resolver problemas para los cuales es necesaria la inteligencia (experiencia) humana.

Los sistemas se pueden dividir en **Sistemas Basados en Conocimiento** y otros sistemas. La diferencia entre los SBC y los otros, están en la cantidad y en lo puntual del conocimiento que implementan.

Los SBC son capaces de responder a una pregunta, ya que tienen implementados un módulo de explicación. A estos sistemas se les llama también **Sistemas Expertos Consultivos**.

Los Otros, son programas parecidos al del ajedrez, ya que realizan un movimiento, pero no indican porque lo han hecho, aunque se lo pregunte.

Los SBC a su vez se pueden dividir en **Sistemas Expertos** y otros.

Los Sistemas Expertos aparecen en los 60, siendo un avance de la Inteligencia Artificial. Los Sistemas Expertos están muy avanzados en muchos campos de la ciencia, pero sobre todo se utilizan para el diagnóstico, y para la educación.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.2.- Conceptos básicos de los Sistemas Expertos. Introducción.

En los Sistemas Expertos hay seis conceptos básicos, a tener en cuenta:

.- PERICIA.

Pericia es el dilatado conocimiento de una tarea específica, adquiriendo mediante el entrenamiento, lectura y experiencia. Los siguientes tipos de conocimiento son ejemplos que incluyen dicha pericia:

- .- Reglas Heurísticas
- .- Metaconocimiento.
- .- Estrategias globales para la solución de estos tipos de problemas.

Estos tipos de conocimiento habilitan al experto para tomar mejores y más rápidas decisiones, que un no experto en la solución de problemas complejos. Se requiere mucho tiempo para llegar a ser un experto.

.- EXPERTOS.

Es difícil definir lo que es un Experto porque hay distintos niveles o grados de experiencia. No obstante, se sabe que los no-expertos son más en número que los expertos.

La habilidad en la resolución de problemas, es necesaria, pero no suficiente por si misma, para la definición de un experto.

Los expertos son capaces de explicar los resultados, aprender nuevas cosas del dominio, reestructuración del conocimiento, siempre que fuese necesario, mediante reglas, y determinar cuando su pericia es pertinente. Finalmente los expertos consiguen cerrar los límites de su conocimiento.

Todas estas actividades deben ser hechas eficientemente y con efectividad.

.- TRANSFERENCIA DE LA PERICIA.

El objetivo de los S.E. es transferir la pericia o habilidad de los expertos a las computadoras, y por tanto a otros humanos. Este proceso tiene dos actividades: **Adquisición de conocimiento** (de los expertos) y **Representación de ese conocimiento** (en la computadora). El conocimiento es almacenado en la computadora en un componente del S.E. llamado **Base de conocimiento**. Dos tipos de

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

conocimiento son distinguibles: Los hechos y los procedimientos relativos al dominio del problema.

.- RAZONAMIENTO

Una característica única en los S.E. es la habilidad para razonar. Una vez que el conocimiento esta guardado en la base de conocimiento, la computadora es programada para que pueda hacer inferencias a partir de ese conocimiento. El razonamiento es efectuado en un componente llamado **Motor de Inferencia** el cual incluye procedimientos, dando solución del problema, mediante una aproximación, llamada **Razonamiento Simbólico**.

Razonamiento simbólico: Un S.E. representa el conocimiento simbólicamente. En la jerga de la I.A. un símbolo es una cadena de caracteres.

Para solucionar un problema, un S.E. manipula estos símbolos.

.- REGLAS.

La mayoría de los S.E. comercializados están basados en reglas; esto es, el conocimiento está guardado principalmente en forma de reglas, como son los procedimientos de solución del problema. Las regla más frecuente es la de formato IF.....THEN.....

.-CAPACIDAD DE EXPLICACION

Una característica importante de los S.E. es su habilidad para explicar su mensaje o recomendación y justificar por que una cierta acción no fue recomendada. La explicación y justificación es realizada por un subsistema llamado "justificador" o subsistema de explicación. Este modulo realiza una examen de su propio razonamiento y explica su funcionamiento.

3.- PAPEL Y NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO EXPERTO.

3.1.- Diferencia entre Dato, Información y Conocimiento.

Como **Dato** podemos entender la representación simbólica de un aspecto simple de un universo.

Puede ser de dos tipos:

.-Objeto:

Eneuplas de atributo valor.

.- Hecho:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Relación entre objetos. Eneuplas de objetos.

Por **Información** entenderemos cualquier estímulo capaz de cambiar el estado de un sistema dado. Capacidad de los datos para sorprender al que los obtiene.

El **conocimiento** será la representación simbólica de un aspecto complejo de un universo.

DATO Análisis INFORMACION Síntesis CONOCIMIENTO

----- Proceso de integración -----

Mediante el **Proceso de Integración** un dato forma parte del conocimiento.

La **síntesis** provoca el paso de la Información a ser Conocimiento.

3.2.- Tipos de conocimiento.

Hay dos tipos de conocimiento:

.-Declarativo.

Es el conocimiento que se refiere a describir como son las cosas.

.-Procedural.

Es una descripción de como funciona las cosas.

En los S.E se suele usar el conocimiento declarativo.

Existe lo que se llama Conocimiento Común, que es el que tiene todo el mundo como por ej.: la nieve es blanca.

El conocimiento está expresado en lenguaje natural, y por ello presenta los mismos problemas que tiene el lenguaje natural, como es la ambigüedad y la imprecisión.

3.3.- Niveles de conocimiento.

El conocimiento de un experto, está dividido en niveles:

.- **TEORIA DE ORDEN CERO.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Cuando hablamos con un experto, y le preguntamos sobre el conocimiento que posee, lo primero que cuenta es lo que está en los libros, es decir, conocimiento público. A esto se le llama Teoría de Orden Cero, o **Conocimiento Factual** (porque describe los hechos pertenecientes al sistema que estamos tratando).

.- TEORIA DE ORDEN UNO.

Es el conocimiento debido a la experiencia. Entre conocimientos actuales, buscará los que son más pertinentes en ese momento y dentro de ellos analizará unos antes que otros, debido a la experiencia, es el conocimiento privado.

Es también llamado **Conocimiento Heurístico**.

.- TEORIA DE ORDEN DOS.

Es independiente del dominio. Cuando elija una forma de representar el conocimiento, será un metaconocimiento.

También es conocido como **Metaconocimiento**.

3.4 El elemento humano en los sistemas expertos.

En la construcción de un sistema experto participan al menos dos personas: un experto y un usuario.

1.- Experto

Es difícil definir que es un experto pues existen distintos grados de experiencia, y resulta complicado determinar cuando una persona con mucha pericia o habilidad puede ser calificada de experta.

Normalmente la habilidad humana incluye un conjunto de comportamientos que implican las siguientes actividades:

- Reconocimiento y reformulación de problemas
- Solución de problemas rápidamente
- Explicación de la solución
- Aprendizaje de la experiencia
- Estructuración del conocimiento

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El Experto es un dominio especializado, es una persona que posee conocimiento especial, experiencia y métodos que aplica con habilidad para dar una respuesta o consejo que den solución al problema planteado. Una de sus tareas es dotar al sistema experto del conocimiento que le permita resolver estos problemas.

El Experto conoce cuales son los hechos principales y el significado de sus relaciones.

Normalmente los términos y conceptos básicos se pueden encontrar en libros, manuales o catálogos pero esto no es suficiente para resolver un problema. La razón de porqué toda la experiencia no está documentada es que la mayoría de los expertos ignoran el exacto proceso mental por el que ellos diagnostican o resuelven problemas, es necesario por tanto un proceso interactivo para adquirir la información adicional de los expertos para expandir el conocimiento básico. De esto se encarga el ingeniero del conocimiento.

2.- El ingeniero de conocimiento

El **Ingeniero de Conocimiento** ayuda a los expertos humanos a estructurar el área del problema, interpretando, integrando respuestas humanas a las cuestiones, dibujando analogías y solucionando ligeras dificultades conceptuales.

3.- El Usuario

El **Usuario** puede ser de diversos tipos:

- i) Un cliente no experto (Sistema Experto para consultas).
- ii) Un estudiante que quiere aprender
- iii) Un Constructor de Sistemas Expertos que quiere mejorar o incrementar la base de su conocimiento.
- iv) un experto en el caso de querer consultar a un colega.

4.- CONCEPTOS GENERALES EN LA ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

4.1.- Introducción

La transferencia de conocimientos desde una fuente a la base es denominado **Adquisición de Conocimiento**. La adquisición de conocimiento implica la aplicación de técnicas para reconocer conocimiento subyacente y construir un modelo de representación del conocimiento. El conocimiento es adquirido en pedazos.

Después de cada aumento de conocimiento, la eficiencia de un sistema experto se espera que mejore.

Las fuentes de conocimiento son los expertos, libros, experiencias personal, datos experimentales agrupados en bases de datos y algunos más. Como resultado de la adquisición de conocimiento, la base de conocimiento es construida.

En el caso de redes de producción las nuevas reglas son construidas e incorporadas al sistema de producción.

En el caso de redes semánticas, nuevos nodos son creados y añadidos a la estructura por adición de enlaces, mientras que en el caso de sistemas "frame" algunos "slots" (aberturas) vacíos de frames existentes deben ser rellenados. Los nuevos frames pueden ser creados por instanciación de frames genéricos y luego enlazados con el sistema. En todos los casos, las nuevas unidades de conocimiento pueden causar la revisión del sistema existente (por ejemplo nuevas reglas pueden interferir con algunas de las existentes por lo que el sistema entero debe ser modificado).

La adición de conocimiento a un sistema experto puede suceder directamente en las mismas unidades que ya existen en la base de conocimiento, o como el resultado de la inducción de ejemplos, o como deducción de otro conocimiento ya existente en la base de conocimiento. Tanto la inducción como la deducción pueden ser realizadas por una máquina. La inducción es el proceso de producir principios generales a partir de ejemplos específicos, mientras que la deducción significa obtener conclusiones específicas a partir de principios generales.

En general las técnicas de adquisición de conocimiento pueden ser divididas en manuales y basadas en computadoras.

La técnica manual más popular de adquisición de conocimiento está basada en el contacto directo de un ingeniero de conocimiento con un experto en el dominio sin el uso de herramientas basadas en un computador especializados. Las técnicas manuales de adquisición de conocimiento consumen tiempo y son caras.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Para simplificar el proceso de adquisición del conocimiento, una variedad de técnicas basadas en computadora han sido desarrolladas. Las técnicas basadas en computadora, utilizadas en adquisición del conocimiento pueden ser divididas en interactivas y de aprendizaje automático.

ADQUISICION DE CONOCIMIENTO

1.- Técnicas manuales

2.- Técnicas asistidas por Ordenador

2.1.- Interactivas

2.2.- Aprendizaje automático

4.2.- Técnicas manuales e interactivas

Hoy día la técnica básica de adquisición del conocimiento sigue siendo la entrevista de un ingeniero del conocimiento a un experto. Esta entrevista puede ser realizada directamente de una forma exclusiva persona a persona (por ejemplo manualmente) o con la ayuda de un paquete de software (por ejemplo por una técnica interactiva).

TECNICAS INTEREACTIVAS

1.- Entrevistas

1.1.- Estructuradas

1.2.- No estructuradas

2.- Observación

2.1.- Coexistente

2.2.- Retrospectiva

Los dos caminos principales para obtener conocimiento son entrevistar al experto u observarlo. En la primera forma el ingeniero de conocimiento obtiene el conocimiento activamente., preguntándole al experto. La segunda técnica está basada en el papel pasivo del ingeniero del conocimiento que observe al experto mientras trabaja.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

4.2.1.- La Entrevista

En una típica sesión de entrevistas el ingeniero de conocimiento gasta la mayor parte del tiempo preparando la sesión, posteriormente analizándola. También será necesario generar una documentación de la base de conocimiento.

Usualmente las fuentes de conocimiento son organizadas en librería especialmente diseñada. Los conceptos usados en el dominio son catalogados en un diccionario de conocimientos.

Un ingeniero de conocimientos adquiere conocimientos a través de varias sesiones de entrevistas. Al principio estas sesiones no deben ser estructuradas. mientras que el ingeniero está preguntando cuestiones generales. Avanzando en el proceso de adquisición de conocimiento está preguntando cuestiones específicas). Las sesiones deben ser grabadas (video o grabadora). Debe usarse alguna forma de mantener la información, como tomar notas o rellenar cuestiones especiales, denominadas cuestiones de adquisición del conocimiento.

Las cuestiones de adquisición del conocimiento contienen información esencial, tal como una serie de metas en la sesión, descripción de los datos obtenidos de la forma de hechos, definiciones, funciones selecciones, tablas, taxonomías, etc, así como alguna información oficial (por ejemplo: tiempo de la sesión, nombre del ingeniero del conocimiento, nombre del experto).

Como resultado de la entrevista el ingeniero obtiene reglas de la forma if..then, en un lenguaje claro, algún elemento del proceso revisado es usado para verificar el conocimiento adquirido. En la revisión, se deben utilizar otros ingenieros del conocimiento o gestores.

En una entrevista estructurada típica, el ingeniero del conocimiento debería guiar al experto durante la sesión, siguiendo la agenda previamente preparada, poniendo mucha atención en las metas de la sesión sumariar la sesión y verificando los resultados de la entrevista. Al mismo tiempo, algunos escollos, como identificación en muchas fuentes deben ser evitados.

El experto debe ser tratado con respeto; el ingeniero del conocimiento y debería mantener su equilibrio entre ser demasiado dominante y mostrarse no demasiado obediente. En general el experto debe tener bastantes oportunidades para expresar ideas; las preguntas deben ser realizadas usando el lenguaje del experto y deben ser breves. El proceso de entrevista es más un arte que una ciencia.

4.2.2.- Observación

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Algunas veces los expertos no pueden expresar su conocimiento o pueden tener dificultades en hacerlo. En estos casos es más fructífero adquirir conocimiento por observación.

Las técnicas básicas usadas son la verbalización coexistente, también denominada 'pensando en voz alta' o 'protocolo verbal', y la verbalización retrospectiva.

La primera está basada en la observación del experto durante el proceso de resolución de su problema, especialmente grabando el pensamiento del experto durante la terminación de la tarea.

En la última técnica, el ingeniero del conocimiento graba el camino, que sigue el experto para resolver el problema y luego explica el procedimiento al ingeniero de conocimiento.

4.2.3.- Múltiples expertos

Usualmente muchos dominios complejos requieren adquirir conocimiento de muchos expertos. En general, se cree que un grupo de expertos es mejor que un experto individual. La mayor ventaja de muchos expertos es la habilidad de detectar y corregir preguntas erróneas. Son utilizadas técnicas especiales de entrevistas para tratar con múltiples expertos.

ENTREVISTAS

- 1.- Experto simple
- 2.- Múltiples expertos

2.1.- Grupos Nominales

2.2.- Toma de decisiones en Consenso

2.3.- Brainstorming

Múltiples expertos pueden ser entrevistados individualmente o en un equipo.

Típicamente, el principio del proceso de adquisición del conocimiento se usa la técnica denominada **Tormenta de Ideas** (brainstorming). Al principio de la sesión de la tormenta de ideas la meta es plantear brevemente a los expertos y posteriormente los expertos expresan sus ideas tan rápidamente como pueden, si bien sus ideas son grabadas y posteriormente analizadas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Posteriormente en el proceso de adquisición del conocimiento otra técnica denominada **Grupos Nominales**, puede ser utilizada, donde los miembros de los equipos de múltiples expertos funcionan independientemente.

Todavía, otra técnica, **Toma de decisión en Consenso**, puede ser utilizada. En esta técnica, un problema es presentado al equipo de múltiples expertos y después de algunas discusiones se llega a una conclusión por votación.

4.4.4.- Técnicas basadas en psicología

Algunas técnicas para obtención de conocimiento están basadas en otras disciplinas (por ejemplo: psicología, sociología o antropología). Las más populares son las técnicas basadas en psicología.

TECNICAS PSICOLOGICAS

- 1.- Clasificación por tarjetas
- 2.- Graduado Multidimensional
- 3.- Rejilla de Repertorios

Es una aplicación típica del método de **Clasificación por Tarjeta** los conceptos son representados en tarjetas individuales y luego son agrupados por los expertos. Los expertos dividen las tarjetas en grupos pequeños y luego los mezclan en grupos grandes, usando la técnica 'pensando en voz alta' al mismo tiempo.

La técnica **Graduado Multidimensional** usa un conocimiento similar al experto para comparar un conjunto de objetos. Usando la técnica de pensando en voz alta, cada objeto es comparado con todos los otros para hacer el conocimiento similar al ingeniero de conocimiento. Luego una matriz de datos es producida y los objetos son producidos en un número seleccionado de dimensiones.

Una **Rejilla de Repertorios** es todavía una técnica basada en psicología. En la rejilla de repertorio los elementos son utilizados para definir el área de pericia, son descritos por los expertos de acuerdo a una construcción cuyos valores describen elementos. Una rejilla de repertorio podía ser analizada para encontrar modelos o principios generales. Graduado multidimensional y rejillas de repertorio son utilizadas en herramientas de herramientas de entrevistas expertas para adquirir conocimiento como AQUINAS, KITTEN, KSSO Y PLANET.

4.2.5.- Adquisición del conocimiento bajo Incertidumbre

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La elección de un mecanismo para manipular incertidumbre debe realizarse lo más pronto posible dentro del proceso de adquisición del conocimiento. La única ayuda con la que puede contar el ingeniero del conocimiento para llegar a esta decisión es familiarizarse a fondo con el mayor número de teorías sobre el trato con incertidumbre que pueda y con sus ventajas y desventajas.

Incluso en el caso de la construcción de Sistemas Expertos que no tratan con incertidumbre, la metodología existente no proporciona ninguna respuesta sobre como elegir una representación del conocimiento (ejemplo: podemos dudar entre la representación directamente por reglas de producción, por reglas de producción organizadas a través de redes semánticas, o por una mezcla entre reglas y estructuras).

Hay poca ayuda disponible para decidir que herramienta debe elegirse para desarrollar un Sistema Experto, incluso con respecto a la elección entre un lenguaje de programación general o un lenguaje de ingeniería del conocimiento, y en este caso, ¿cual de entre los productos comerciales existentes elegimos.

No existe acuerdo entre los distintos grupos de investigación, ni siquiera en cuanto a las ventajas y desventajas de las teorías existentes respecto al manejo de incertidumbre.

El proceso de adquisición de conocimiento no es objetivo, la elección de la forma de tratar con incertidumbre es en la mayoría de los casos una elección subjetiva del ingeniero de conocimiento. Una vez que esta decisión está tomada el resto de adquisición del conocimiento está predispuesta. En particular, el ingeniero tomará sus decisiones en función de lo que pregunte el experto.

Uno de los más detallados procesos de codificación de probabilidades (posibilidades) mediante entrevistas fue descrito en MERKHOFER (1987).

La suposición más importante es que los valores para las probabilidades subjetivas no pueden obtenerse directamente del experto, porque están acompañados de predisposiciones. Esas predisposiciones están introducidas por métodos de razonamiento del propio experto, o por mecanismos de adquisición de probabilidades subjetivas recogidos de varios expertos. El proceso consta de siete pasos:

1. **Motivación:** en este el ingeniero evalúa y quita las predisposiciones del razonamiento del experto. Dos predisposiciones son particularmente importantes:
 - Predisposición de la dirección, por ejemplo: la confusión que existe entre los deseos y objetivos de la dirección y la practica.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Predisposición del experto, significa que el conocimiento del experto, en su mente, no debe ser incierto.

- 2. Estructuración: las variables inciertas que van a ser valoradas son seleccionadas y las suposiciones sobre variables son exploradas.

- 3. Acondicionamiento: El ingeniero y el experto discuten acerca de las variables.

- 4. Cuantificación de la incertidumbre asociadas a las variables (también codificación): hay muchas técnicas para realizar este propósito, podemos preguntarle al experto por los valores de las variables para fijar los valores o preguntar por ambos. Las preguntas sobre probabilidades pueden realizarse directa o indirectamente (preguntando por la mejor 'apuesta').

- 5. Verificación: Permite estar seguros de que el experto cree en las probabilidades dadas. Si no es así se modifican y vuelven a verificarse.

- 6. Agregación: Se ejecuta en el caso de que intervengan muchos expertos. Las distribuciones de probabilidad individuales se agregan en este paso.

- 7. Discretización o cuantificación: El rango de valores de las variables se elige a partir de cada intervalo y entonces la probabilidad, el valor actual tomado del intervalo, es asignado a ese punto.

4.3.- Aprendizaje Automático

El comienzo de la actual investigación en aprendizaje fue iniciado por P.H WINSTON la suposición general es que el aprendizaje no puede iniciarse sin la suficiente presencia de conocimiento en el sistema.

Este capítulo está restringido al aprendizaje empírico, llamado también aprendizaje basado en similitudes, en contraposición a otras muchas de orientar el aprendizaje del conocimiento como el aprendizaje basado en explicaciones.

Los principales métodos de aprendizaje automático son:

- 1. Aprendizaje de memoria: en él el conocimiento directamente suministrado y memorizado., No se necesitan reglas de inferencia.

- 2. Aprendizaje por narración: también llamado aprendizaje a partir de instrucciones, está basado en la adaptación del conocimiento proveniente de

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

una fuente, a una forma que puede ser acoplada y utilizada. El alumno realizará algunas inferencias, pero la mayoría son responsabilidad del profesor.

3. Aprendizaje por analogía: Es realizado adquiriendo nuevo conocimiento que fue de ayuda en la realización de una tarea en similares circunstancias. Esta clase de aprendizaje necesita más inferencia por parte del alumno.
4. Aprendizaje inductivo: Se clasifica en aprendizaje a través de ejemplos y aprendizaje a partir de la observación.
 - a) Aprendizaje a través de ejemplos. También llamado adquisición de conceptos. Un conjunto de ejemplos positivos y negativos son dados, y al alumno se le induce a una descripción de conceptos de alto nivel. Este método ha sido estudiado con mucha intensidad. Necesita más inferencia por parte del alumno por analogía.
 - b) Aprendizaje a partir de la observación, o generalización descriptiva o aprendizaje no supervisado, significa crear nuevas características de teorías a partir de unos hechos. Necesita la mayor inferencia.

Entre los métodos de aprendizaje automático, las reglas de inducción a partir de ejemplos parecen ser las únicas utilizadas en el área de los Sistemas Expertos. Sin embargo los ingenieros también cuentan con otras ayudas como reglas de chequeo de la base del conocimiento.

Recordemos que en el aprendizaje inductivo al alumno se le pueden exponer solo ejemplos positivos o ejemplos positivos y negativos.

Uno de los más importantes fines de clasificación de métodos de aprendizaje inductivo se realiza en base a las posibles descripciones. Por ello el objetivo del aprendizaje puede llevarse a cabo a través de una descripción de características, en la cual un conjunto de ejemplos son descritos de tal forma que sean distinguibles de cualquier otro conjunto. Esta es la forma más simple de aprendizaje inductivo. Normalmente la descripción se da con la máxima especificación.

Un bien conocido método que produce descripciones de características ha sido desarrollado en Winston (1975). En este trabajo, el concepto de errores cercanos como ejemplos negativos y otros, han sido introducidos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Otro objetivo del aprendizaje es alcanzar una descripción discriminante. En este caso, un conjunto de ejemplos y una familia fija de otros conjuntos de ejemplos, son dados. La tarea consiste en describir el conjunto de tal forma que se distinga de cualquier otro conjunto de los que forman la familia de conjuntos.

Otro objetivo del aprendizaje es presentar una descripción taxonómica. El problema es clasificar un conjunto de ejemplos dentro de unas subclases que satisfagan algún criterio.

Actualmente son muy usados los métodos que utilizan grupos de conceptos, donde los conjuntos de ejemplos se clasifican dentro de las clases de acuerdo a varios conceptos. METADENDRAL pertenece a esta área.

Recordemos que encontrar una descripción de características o una descripción determinante constituye aprendizaje a partir de ejemplos, mientras que la determinación de grupos conceptuales pertenece a los métodos de aprendizaje a partir de la observación.

En aprendizaje inductivo se utilizan dos enfoques para controlar la estrategia:

1. Enfoque dirigido a datos o de abajo-arriba: en el cual los ejemplos son descritos consecutivamente, en un número de pasos y sus descripciones más exactas después de cada paso, se producen al mismo tiempo. Es representado por los métodos de Winston o Quilan.
2. Enfoque dirigido a Modelos o de arriba-abajo: donde del conjunto de posibles descripciones se buscan unas pocas descripciones óptimas. Es representado por el método de METADENDRAL.

Otra clasificación de los sistemas de aprendizaje se realiza por el tipo de adquisición de conocimiento la forma más popular es adquirirlo como **Reglas de producción**. Un ejemplo de sistemas de aprendizaje generando un árbol de decisión es ID3. En el árbol de decisión los nodos corresponden a los atributos y los arcos al valor de los atributos.

Otras posibilidades incluye **Aprendizaje Inductivo** se ocupan de métodos de aprendizaje para datos de entrada completos, libres de errores o conflictos.

4.4.- Aprendizaje de reglas a partir de ejemplos

En el aprendizaje de reglas a partir de ejemplos, grandes bases de datos o protocolos de entrevistas son procesados. Como resultado se entregan las reglas de producción.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

En una entrevista, los ejemplos o los datos tratados corresponden a las observaciones que hace el experto o al tipo de acciones que realiza ante determinadas situaciones. En las bases de datos para muchas instancias específicas, los valores de los atributos son determinados por valores de variables de decisión, brevemente llamado decisiones.

El aprendizaje de las reglas puede ser automatizado, lo que es de gran ayuda para el ingeniero.

Debemos enfatizar que la eficiencia de los programas de aprendizaje automático es insignificante en comparación de los beneficios potenciales derivados de la realización de un Sistema Experto.

Primero debemos aclarar que 'ejemplos' son entendidos. Para ello introducimos el concepto de **Tabla de Decisión**. Un algoritmo para determinar las reglas será descrito después.

4.4.1.- Tablas de Decisión

El primer punto para el enfoque hacia un algoritmo inductivo, que presentamos aquí, es la tabla de decisión. Esta tabla puede ser el resultado de una entrevista, de una recuperación de información desde una base de datos o una observación del protocolo de varios procesos.

Por ejemplo, en un proceso industrial (ejemplo: fábrica de azúcar) tenemos:

- .- Instantes de tiempo t_1, \dots, t_n .
- .- Parámetros a_1, \dots, a_n (temperatura, precisión,...).
- .- Acciones del operador b_1, \dots, b_n (cambio de valores en el flujo del sistema, mezcla de flujos,...) que son almacenados en la tabla.

a_1 a_2 a_n	b_1 b_2 b_n
t_1	
t_2	
t_n	

Los parámetros a_1, \dots, a_n son llamados **Atributos** mientras que las acciones del operador b_1, \dots, b_n se llaman **Decisiones**. Un atributo o decisión "q" puede aceptar un conjunto de valores. ese conjunto se llama dominio de "q".

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Cualquier conjunto de valores de un atributo puede ser cuantificado por los expertos en función de cómo tomar ellos sus decisiones.

Por ejemplo, los resultados de un análisis de glucosa pueden clasificarse como bajo, normal, alto o muy alto nivel de azúcar en sangre. En este caso se distinguen cuatro niveles. De forma similar las decisiones pueden tener definidos un número de niveles que puede ser diferente, los elementos t_1, \dots, t_n se suelen llamar **Entidades de la Tabla**.

Debemos recordar que el concepto de tabla de decisión y base de datos aunque son similares no son idénticos. En una tabla de decisión puede haber líneas duplicadas etiquetadas por dos entidades distintas (x e y). Esto significa que para cualquier atributo o decisión "q" ambas entidades x e y tendrán idénticos valores. Esta situación no ocurre en una base de datos, mientras que en una tabla de decisión es muy normal. Muchos pacientes pueden tener los mismos resultados en una prueba y estar clasificados dentro del mismo nivel de enfermedad. De forma similar, los parámetros de los procesos y las acciones del operador almacenados en diferentes instantes, pueden ser iguales, con la misma exactitud, obtenida a partir de la cuantificación.

Veamos la siguiente tabla de decisión sencilla.

¡Error! Marcador no definido.	a	b	C
x_1	L	0	U
x_2	H	0	U
x_3	L	1	W
x_4	H	1	V
x_5	L	2	W
x_6	H	2	W

El atributo 'a' puede tomar dos valores L y H, bajo y alto. El atributo 'b' puede tomar uno de los valores 0, 1, 2. La decisión 'a' representa tres posibles acciones, u, v y w. Existen 6

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

entidades en la tabla x_1, \dots, x_6 , 'x' denota una variable que representa una entidad. Esta tabla es completa, todos los posibles pares de valores por atributo están incluidos. No existen pares duplicados de valores de (a,b).

La entidad x_1 puede ser descrita de la siguiente manera:

$$(x_1, a, L) \quad (x_1, b, 0) \quad (x_1, c, u)$$

esto es:

Si para x_1 el valor de a es L, y para x_1 el valor de b es 0 entonces para x_1 el valor de c es u.

Puede observarse que la anterior regla es verdadera no sólo para x_1 sino para cualquier x, porque no hay otra entidad caracterizada por los mismos valores para los atributos a y b, y caracterizada por otro valor para el atributo c. De esta manera, la regla que describe x_1 puede ser escrita de la siguiente forma:

$$(x, a, L) \wedge (x, b, 0) \rightarrow (x, c, u)$$

La técnica anterior se llama el **Cambio de Constante a Variable** (Michalski 1983) (la constante x_1 se cambia en la variable x).

La otra entidad que toma valor u en el atributo c es x_2 que se describe como:

$$(x_2, a, H) \wedge (x_2, b, 0) \rightarrow (x_2, c, u)$$

Haciendo el cambio de la constante x_2 a la variable x (mismo razonamiento que en x_1).

$$(x, a, H) \wedge (x, b, 0) \rightarrow (x, c, u)$$

Se tiene sólo dos posibles valores L, y H, para el atributo a, de esta manera, tenemos las siguientes dos reglas:

$$(x, a, L) \wedge (x, b, 0) \rightarrow (x, c, u)$$

$$(x, a, H) \wedge (x, b, 0) \rightarrow (x, c, u)$$

que se pueden reemplazar por la regla:

$$(x, b, 0) \rightarrow (x, c, u)$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Ambas reglas se han subsumido en una sola. En otras palabras ambas reglas tienen el mismo efecto que la primera, excepto que esta contiene restricciones adicionales.

Esta técnica se llama **Dropping condiciones** (Michalski, 1983).

Usando una argumentación similar las siguientes tres reglas pueden ser construidas:

$$\begin{aligned}(x, b, 2) &\rightarrow (x, c, w) \\ (x, a, H) \wedge (x, b, 1) &\rightarrow (x, c, v)\end{aligned}$$

Se puede observar que las siguientes cuatro reglas tienen la misma variable x en cada tripleta. Por motivos de simplicidad se puede reescribir la regla de la forma:

$$\begin{aligned}(b, 0) &\rightarrow (c, u) \\ (a, L) \wedge (b, 1) &\rightarrow (c, w) \\ (b, 2) &\rightarrow (c, w) \\ (a, H) \wedge (b, 1) &\rightarrow (c, v)\end{aligned}$$

donde x se ignora. En los siguientes ejemplos la misma simplificación se ha usado (variables que denotan entidades que se ha ignorado). En el ejemplo anterior las reglas no son inducidas sistemáticamente sino más bien supuestas. Dos algoritmos para inducción de reglas se presentarán a lo largo de este capítulo. En las reglas construidas con la ayuda de estos algoritmos, las decisiones de las reglas incluidas dependen de sus más pequeños números de atributos posibles.

La tabla de decisión anterior es completa, todas las situaciones para los atributos a y b son cubiertos, por el conjunto de las cuatro últimas reglas.- Esto es, estas son reglas no extraviadas (perdidas).

El concepto de **Regla perdida** se ilustra en la siguiente tabla:

¡Error! Marcador no definido.	a	b	c
x ₁	L	0	u
x ₂	H	0	u
x ₄	H	1	v
x ₅	L	2	w
x ₆	H	2	w

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Esta tabla es una modificación de la tabla anterior, sin la línea etiquetada x_3 .

En la base de la tabla las siguientes reglas pueden ser incluidas:

$$(b, 0) \rightarrow (c, u)$$

$$(b, 1) \rightarrow (c, v)$$

$$(b, 2) \rightarrow (c, w)$$

Comparando el conjunto de reglas de esta tabla con el conjunto de reglas de la tabla anterior dos observaciones pueden ser hechas:

1. La regla $(a, H) \wedge (b, 1) \rightarrow (c, v)$ obtenida en la primera tabla se simplifica en $(b, 1) \rightarrow (c, v)$ en la segunda tabla.
2. La regla $(a, L) \wedge (b, 1) \rightarrow (c, w)$ no se puede inducir de la segunda tabla, porque al faltar la fila etiquetada con x_3 , esta regla se pierde.

En este punto es necesario aclarar que el proceso de adquisición del conocimiento requiere analizar muchas tablas de decisión diferentes.

4.4.2.- Ideas finales

A pesar de los muchos esfuerzos realizados para obtener un mecanismo que verifique automáticamente el conocimiento de una base de reglas, el estado está lejano de ser satisfactorio. Aunque muchos autores concuerdan en la necesidad de desarrollo de tal mecanismo, eso no quita que debe realizarse la verificación de una base de reglas con un conocimiento determinado. Al mismo tiempo, la ausencia de una herramienta para la verificación de las bases de reglas, es reconocida como un obstáculo en el desarrollo de sistemas expertos basados en reglas.

4.5- Representación del conocimiento.

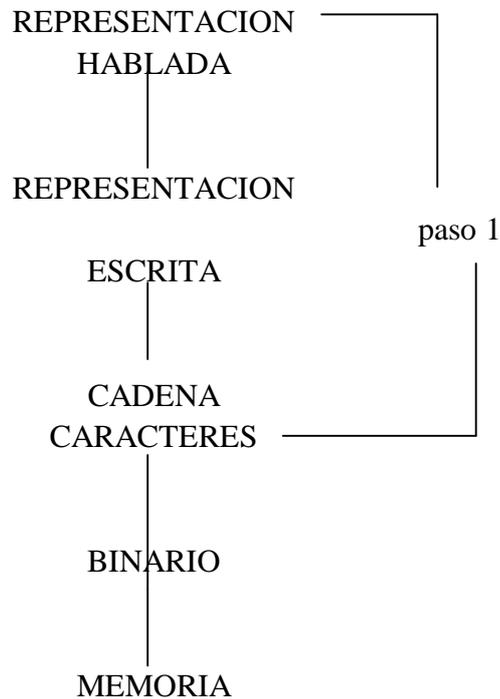
El proceso que sigue la representación del conocimiento se puede representar como:

IMAGENES
MENTALES



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



En el paso 1 es donde está el problema del ingeniero del conocimiento.

Los distintos modelos de representación, se reflejan en el siguiente esquema:

MODELOS DE REPRESENTACION

1.- Declarativos

1.1.- Lógicos

1.2.- Estructurados

2.- Procedurales

2.1.- Estructurados

2.2.- Orientados a objetos

1.1.- Declarativos

Hay que indicar la forma, la estructura de la representación, etc.

1.1.- Lógicos.

Se basa en la descripción de proposiciones de objetos y de reflejar en la forma del razonamiento humano. No permite encadenar cosas.

Una de las lógicas usadas es la **LOGICA DE 1º ORDEN**, la cual es un modelo simple y no estructurado, presentando problemas de monotonía.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Otra lógica es la **LOGICA PROPOSICIONAL**, la cual es difícil de computar.

Esta lógica presenta las ventajas de:

- *.- No es estructurada.
- *.- Se puede modificar fácilmente
- *.- Es un lenguaje bastante fácil.
- *.- Es completa.
- *.- Tiene poderosas herramientas de inferencia.

Por consiguiente presenta los inconvenientes de:

- *.- No puede representar Metaconocimiento.
- *.- No es estructurado, y no puede recoger relaciones entre objetos.
- *.- Es monótona. Si pongo un predicado más, todos los axiomas anteriores, siguen siendo verdaderos.
- *.- Es Semidecible. No existe ningún algoritmo que sea una demostración para indicar si un teorema es cierto o no.

1.2.- Estructurado.

Una forma, es la basada en las redes semánticas.

Partiendo de la idea de Aristóteles, de Asociacionismo y segmentación, se crean las redes semánticas, como una alternativa a la lógica.

Las **REDES SEMANTICAS** son grafos en los que los nodos son conceptos, y los arcos relaciones de conceptos, que pueden ser:

- *.- Asociación: Para conceptos relacionados
- *.- Segmentación: Un concepto es subordinado a otro (\in , =);

NOTA: El signo = significa incluido.

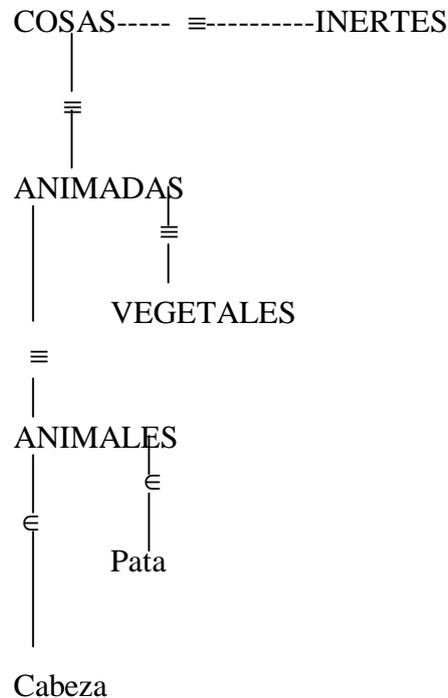
Los inconvenientes de las redes semánticas son:

- *.- Los nodos quedan ambiguamente determinados.
- *.- No permiten trabajar bien con excepciones.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

EJEMPLO:



Los arcos deben tener el menor valor conceptual posible, y deben ser los menos posibles.

Minsky, introdujo el concepto de FRAME (marco, estructura), que se define como una especie de casillero donde se colocan valores de este atributo, y cuando se han rellenado se tiene un ítem completo.

Las características de los Frame son:

- *.- Muchas de las dependencias semánticas se introducen en las casillas.
- *.- En el frame se puede introducir más cosas que en las redes, como son las condiciones genéricas.
- *.- Se pueden hacer inferencias existenciales parciales.
- *.- Se pueden trabajar dentro de ellos, mediante procedimientos.

EJEMPLO:

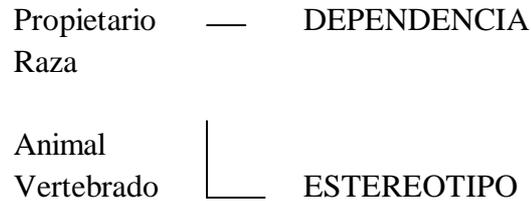
PERRO

Nombre
Edad

|

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Aparece también, la teoría de la Computabilidad de Post, con los modelos conductistas, y la representación por REGLAS.

REGLA: IF Antecedente Then consecuente

Tipos de antecedentes:

- *.- Causa-Efecto.
- *.- De forma Inductiva.
- *.- De forma abductiva.

Las características de la representación por reglas son:

- *.- No todo el conocimiento se puede representar en reglas.
- *.- Se puede representar el Metaconocimiento y Heurísticas.
- *.- Es muy fácil de representar y manejar.

2.- Procedurales.

En los modelos de representación procedural, hay que detallar mucho.

2.1.- Estructurados.

Hay que destacar los **GUIONES** que son sucesiones dinámicas de frame y procedimientos.

En ellos hay muchas heurísticas y frame estructurados.

2.2.- Procedimientos orientados a objetos.

La idea es la de la programación dirigida a objetos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 2: CARACTERÍSTICAS Y ESTRUCTURAS DE UN SISTEMA EXPERTO.

1.- *Introducción-*

1.1.- *Introducción a los S.E.*

1.2.- *S.E. y la Ingeniería del conocimiento*

1.3.- *Idea básica para la resolución inteligente de problemas*

2.- *Definición de un S.E.*

2.1.- *Definición de S.E.*

2.2.- *Historia de los S.E.*

2.3.- *Clasificación de los S.E.*

2.4.- *Utilización de los S.E.*

3.- *Características de los Sistemas Expertos*

3.1.- *Anatomía de un S.E.*

3.2.- *Fases del trabajo de un Ingeniero del Conocimiento.*

3.3.- *Ventajas que ofrecen los S.E.*

3.4.- *Problemas que presenta los S.E.*

4.- *Arquitectura de un Sistema Experto*

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

4.1.- *Arquitectura.*

TEMA 2

CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO

1.- Introducción.

1.1.- Introducción a los Sistemas Expertos.

Desde que el proyecto DENDRAL empezó a finales de los 60, algunos de los trabajos más productivos en I.A. han estado en la subdisciplina cuya meta principal es la producción de programas con un nivel-experto en su ejecución.

El objetivo de DENDRAL era tener una ejecución que pudiese rivalizar con expertos humanos en la obtención de la estructura de moléculas complejas a partir de un diagrama espectral de masa.

Con el éxito de la heurística DENDRAL referente a la interpretación fuerte de un problema normalmente reservado a químicos experimentales, una nueva metodología empezaba a ser visible: La construcción de sistemas sobre dominios limitados donde el conocimiento era obtenido de humanos expertos.

1.2.- Sistemas Expertos y la Ingeniería del Conocimiento.

La disciplina que investiga el campo de los Sistemas Expertos se llama Ingeniería del Conocimiento y combina la tecnología Científica, elementos metodológicos y elementos

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

tecnológicos. Según un principio de Ingeniería del Conocimiento la producción experta raramente se ajusta a algún proceso algorítmico riguroso, no obstante se presta a ser computerizada.

La base de la Ingeniería del Conocimiento es extraer conocimiento, manipularlo y computarlo.

1.3.- Ideas básicas para la resolución inteligente de problemas.

La resolución de un problema inteligente no es algo que se pueda establecer mediante un algoritmo sino que depende del oportuno uso del conocimiento en el problema en concreto.

De todas formas existen una serie de ideas básicas que permiten un acercamiento a la resolución inteligente de un problema y que se muestran a continuación:

1.- **Conocimiento** formado por: hechos, creencias, heurísticas.

2.- **Encontrar una buena respuesta con los medios disponibles**, no tiene porqué ser la respuesta óptima.

3.- **Buscar eficientemente en los sucesos afectados.**

4.- **Ayudas para la eficiencia:**

- Aplicar de forma correcta y discriminada el conocimiento.
- Rápida eliminación de "callejones sin salida".
- Eliminación de redundancias.
- Aumentan la rapidez de cálculo de operaciones en la computadora.
- Multiplicar y coordinar la fuente de conocimiento.
- Razonar y variar el nivel de abstracción.

5.- **Causas que incrementan la dificultad del problema:**

- Error en los datos o conocimiento.
- Datos que cambian dinámicamente.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- El número de posibilidades para evaluar.
- Procedimientos complejos para la posible decisión.

La idea de la resolución de un problema inteligente es que un sistema debe construir la solución seleccionando eficientemente un intervalo de alternativas. Un conocimiento experto ayuda a encontrar un dato inicial que sugiere un prometedor camino a explorar y a evitar conocimientos inútiles tan pronto como se pueda.

2.- DEFINICION DE UN SISTEMA EXPERTO

2.1.- Definición de S.E.

El nombre de Sistema Experto deriva del término "Sistema Experto basado en el conocimiento".

Un **Sistema Basado en Conocimiento** es un sistema que usa conocimiento humano introducido en una computadora para solucionar problemas que, normalmente, necesitan de la experiencia humana para su resolución y que se caracterizan por la cantidad de conocimiento que requieren y lo puntual del conocimiento que implementan.

Un **Sistema Experto** además de comportarse como un Sistema Basado en Conocimiento, es capaz de responder el porqué de una determinada acción.

Un Sistema Experto bien diseñado imita el proceso de razonamiento de los expertos para la solución de problemas específicos, y puede ser usado tanto por principiantes (para mejorar sus habilidades en la resolución de problemas), como por expertos (utilizándolos como ayudantes inteligentes).

Los Sistemas Expertos pueden funcionar mejor que cualquier experto humano realizando juicios en un área experta normalmente muy restringida.

2.2.- Historia de los Sistemas Expertos.

En 1977, En la International Joint Conference sobre IA Feigenbaum presenta la clave sobre los Sistemas Expertos:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

"La potencia de un Sistema Experto deriva del conocimiento específico que este posee y no de los formalismos particulares y esquemas de inferencia que emplee".

Esta conclusión supuso un gran cambio en la perspectiva de muchos trabajos sobre IA. Como reacción a las muchas limitaciones percibidas sobre sistemas de propósito general se comienza a trabajar sobre sistemas de aplicación específica.

A comienzos de los 80 la tecnología de los Sistemas Expertos primero limitada al contexto Académico, comenzó a aparecer como aplicaciones comerciales. Relevantes fueron XCON y XSEL (desarrollados por DEC) y LATS-1 (por General Electric).

Además de la construcción de Sistemas Expertos, se hicieron grandes esfuerzos en el desarrollo de herramientas para una rápida construcción de los mismos. Estas incluyen herramientas de programación como EMYCIN Y AGE, herramientas de adquisición del conocimiento como EXPERTS Y KAS, herramientas de aprendizaje de la experiencia como META-DENDREL Y EURISKU.

Los antiguos sistemas Expertos y herramientas requerían hardware especial pero los recientes desarrollos software pueden ejecutarse en computadores normales.

Una observación, empírica (no tautológica), a tener en cuenta es la siguiente:

Un conocimiento experto es necesario y casi suficiente para el desarrollo de un Sistema Experto.

Veamos ahora algunos de los Sistemas Expertos desarrollados a lo largo de la historia:

1.- RESOLUTOR DE PROBLEMAS DE PROPOSITO GENERAL (GPS)

Puede ser considerado como el predecesor de los Sistemas Expertos. Fue desarrollado por Newell y Simon. Busca los pasos necesarios para pasar de un objetivo inicial a un objetivo final o meta. Para cada problema GPS contará con una serie de operadores que cambian el "mundo" de diferentes maneras. Cada operador lleva asociada una lista de precondiciones que se deben dar en el estado actual del mundo para que se pueda aplicar, así como una

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

lista de postcondiciones que se cumplirán después de aplicar el operador. GPS intenta encontrar operadores que reduzcan las diferencias entre una meta y los estados actuales. Algunas veces los operadores no pueden aplicarse en el estado actual (sus premoniciones no se cumplen). En tales casos GPS se establece una submeta: cambiar el estado actual a un estado conveniente para la aplicación de los operadores.

2.- DENDRAL

A mediados de los 60 marca el cambio de los sistemas de propósito general a específico. La construcción de DENDRAL determinó lo siguiente:

- Los Resolutores de problemas generales son demasiado débiles como para ser usados como base para la construcción de Sistemas Expertos potentes.

- Los Resolutorias Humanos son buenos si sólo trabajan sobre un dominio muy restringido.

- Los Sistemas Expertos necesitan ser constantemente actualizados con nueva información. Tal actualización puede ser eficientemente hecha con una presentación basada en reglas, e incluye una condición importante en la arquitectura de los Sistemas Expertos: la modularidad.

- La complejidad de los problemas requiere una considerable cantidad de conocimiento acerca del problema.

DENDRAL es un módulo automático que a partir de información que el experto le da sobre una masa es capaz de mostrarnos su estructura molecular. Codifica el conocimiento heurístico de los químicos expertos en reglas que controlen la búsqueda, de forma que se obtenga una respuesta satisfactoria con mucho menos esfuerzo, introdujo también el concepto de búsqueda dirigida por los datos.

3.- MACSYMA

Es un sistema Experto en símbolos matemáticos. Calcula diferenciales e integrales y simplifica expresiones simbólicas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Posee cientos de reglas que permiten encontrar la expresión equivalente y simplificada de otra dada.

4.- MYCIN

Es el Sistema Experto dedicado al diagnóstico de enfermedades sanguíneas infecciosas.

Características de este sistema son:

- Incluye un módulo de explicación

- Se trata del primer sistema modular con tres módulos:

- 1° Se encuentra el conocimiento acerca del dominio del problema.
- 2° El motor de inferencia que es el encargado de combinar los datos con el conocimiento de la base.
- 3° El módulo de explicaciones

Trata incertidumbre:

Conocimiento no preciso, no exacto. Utiliza reglas que invoca hacia atrás, ya que trabaja hacia atrás a partir de sus propias conclusiones y puede tener un diálogo preguntando al usuario la información necesaria para continuar el encadenamiento hacia atrás.

5.- CASNET

Se ha usado en el diagnóstico y terapia del glaucoma. En lugar de reglas usa una red causal para modelizar enfermedades. Dentro de esta red el programa razona para determinar los efectos de una terapia o enfermedad, de este modo presenta la enfermedad como un proceso dinámico sobre el que razona y puede explicar al usuario. También incluye reglas probabilísticas y diferentes opiniones expertas que usará para dar diagnósticos alternativos.

6.- TEIRESIAS

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Es un programa que interviene en la construcción de grandes bases de conocimiento ayudando a transferir experiencia desde los expertos humanos a la base de conocimiento. El experto lleva a cabo un diálogo con TEIRESIAS en el lenguaje natural. MYCIN es uno de los Sistemas Expertos que se sirven de TEIRESIAS para la adquisición automática de nuevo conocimiento.

7.- PUFF

Es un Sistema Experto en el diagnóstico de enfermedades pulmonares, Fue desarrollado en el Stanford's Heuristic Programming Project, y actualmente es utilizado en el Centro Médico del Pacífico de San Francisco. Aproximadamente el 95% de sus informes son admitidos sin ninguna modificación.

8.- CADUCEUS

Es un sistema de consulta médico que intenta realizar un diagnóstico sobre medicina interna. Representa su conocimiento en un árbol de enfermedades, sobre el que razona dinámicamente. Combina razonamiento dirigido por los datos y por las hipótesis en el mismo sistema. Los datos del paciente son usados para predecir las hipótesis en primer lugar y estas son usadas para predecir otras manifestaciones que pueden ser confirmadas o usadas para cambiar la hipótesis.

9.- PROSPECTOR

Da consejos para encontrar depósitos de minerales partiendo de datos geológicos. El conocimiento es expresado mediante redes. Este programa contiene un sistema de adquisición de conocimiento (KAS).

2.3. Clasificación de los Sistemas Expertos.

La siguiente clasificación no es una clasificación exclusiva de los Sistemas Expertos, ya que un Sistema Experto puede aparecer en varias categorías.

1. Sistema Experto contra Sistema de Conocimiento

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Los Sistemas Expertos pretenden simular el comportamiento de un experto (no poseen solo el conocimiento adquirido en un libro sino que también poseen el conocimiento que se puede adquirir mediante la experiencia), mientras que un sistema de conocimiento sólo posee el conocimiento que se puede adquirir en un libro. A pesar de ello la frontera entre ambos sistemas no está bien definida.

2. Sistemas Expertos basados en reglas

La mayoría de los Sistemas Expertos comerciales poseen el conocimiento representado mediante una serie de reglas de producción. Este tipo de sistemas está basado en el conocimiento humano. Un ejemplo típico de estos sistemas es MYCIN.

3. Sistemas basados en modelos

Estos sistemas están basados en el conocimiento y conductas de los dispositivos para cuyo entendimiento están diseñados. Este tipo de sistemas son especialmente útiles en el diagnóstico de problemas de los equipos, los sistemas incluyen un modelo del dispositivo que va a ser diagnosticado y que es usado para identificar las causas del fallo del equipo. Estos Sistemas Expertos razonan a partir de los principios (básicos).

Una característica especial de los Sistemas Expertos basados en modelos es su transportabilidad.

4. Clasificación por funciones

Buchanan y Shortliffe distinguen los siguientes tipos de Sistemas Expertos:

- 1.- Los que tratan con una "reunión de evidencias".

El sistema conduce al usuario a través de una selección estructurada partiendo de un número razonable de salidas y acciones. Los problemas que son tratados por este tipo de sistemas

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

son los llamados "problemas de clasificación". El proceso que siguen es el siguiente:

El sistema resuelve los problemas clasificándolos dentro de un tipo y buscando la solución para esa clase problema.

2.- Sistemas de refinamiento por pasos acertados.

Tratan con un gran número de salidas por medio de sucesivos niveles de detalle.

3.- Sistemas ensablados por pasos.

En estos el dominio en cuestión puede tener un grandísimo número de posibles salidas. Necesitan de una gran iteración con el usuario, de forma que la inteligencia de este puede conducir al sistema en la dirección adecuada para resolver el problema. Un caso especial de éstos son los llamados "selección catalogada". Estos sistemas tratan con problemas como la elección del elemento adecuado o el eslabón apropiado partiendo de un catálogo de elecciones.

4.- Sistemas hechos a medida

Los sistemas Expertos pueden desarrollarse en función de las necesidades del usuario, o pueden ser comprados como paquetes hechos a medida. Estos últimos disfrutan de la producción en serie y además son más baratos, por el contrario son muy generales en su naturaleza y la ayuda que pueden prestar tiene valor para un usuario involucrado en una situación compleja.

2.4.- Utilización de los Sistemas Expertos.

Actualmente los Sistemas Expertos que están funcionando:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.- Sistemas Expertos para Interpretación

Captan datos mediante sensores y deducen a que situación real corresponden. Ejemplo: tomar datos atmosféricos y decir que tiempo hace.

Esta categoría incluye análisis de imágenes, análisis de estructuras químicas, interpretación de signos....

Un sistema de interpretación explica los datos observados mediante símbolos ya interpretados.

2.- Sistemas Expertos para Predicción

A partir de unos datos se infieren una serie de consecuencias. Ejemplo: a partir de los datos atmosféricos tomados decir si lloverá o no mañana.

Esta categoría incluye previsiones del tiempo, previsiones demográficas, previsiones del tráfico.....

Un sistema de predicción emplea un modelo parametrizado con valores de parámetros ajustados a la situación obtenida.

3.- Sistemas Expertos para Diagnóstico

El sistema de diagnóstico muestra las observaciones realizadas sobre comportamientos irregulares (errores) y las causas que los producen.

Ejemplo: un motor averiado se tomarían datos y se diría la causa.

Esta categoría incluye diagnósticos médicos, electrónicos....

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

4.- Sistemas Expertos para Diseño

Se establecen una serie de restricciones que deben tener unos objetos y el sistema desarrolla la configuración de dicho objeto.

5.- Sistemas Expertos para Planificación

Realizará un diseño de acciones.

Incluyen una programación automática, comunicación, problemas de planificación militar....

Emplean modelos que inferen el efecto de las actividades planificadas.

6.- Sistemas Expertos para Monitorización

Detectan situaciones para decir si son o no correctas.

Esta categoría incluye salida de una planta nuclear, control del tráfico aéreo....

7.- Sistemas Expertos para Debugging (depuración de errores)

Determina donde hay un mal funcionamiento y dice lo que se debe hacer para corregirlo.

Confían en la planificación, diseño y predicciones capaces de crear especificaciones o recomendaciones para corregir u problema de diagnóstico.

8.- Sistemas Expertos para Reparación

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Detecta un mal funcionamiento o una situación anómala, indica porqué se ha producido y prescribe un tratamiento.

Incorporan debugging, planificación y capacidad de ejecución.

9.- Sistemas Expertos para Instrucción o Educación Asistida por Ordenador.

Todo Sistema Experto lleva asociado un sistema de enseñanza.

Comienzan construyendo una descripción hipotética del conocimiento que posee el alumno para interpretar su comportamiento. Diagnostican debilidades en el conocimiento del alumno y dan un remedio apropiado. Finalmente establecen una interacción con el alumno para corregir sus errores.

10.- Sistemas Expertos para Sistemas de Control

Realizan una monitorización con debugging sobre la situación actual y reparan los errores.

Dirigen el comportamiento global de un sistema.

Pueden interpretar situaciones corrientes, predecir el futuro, diagnosticar las causas de problemas anticipados....

Desde el punto de vista formal el Sistema Experto no se equivoca nunca porque reproducen el conocimiento experto y llevan un algoritmo interno. Sin embargo, a veces sus conclusiones no coinciden con la realidad pues el conocimiento que se posee es insuficiente.

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

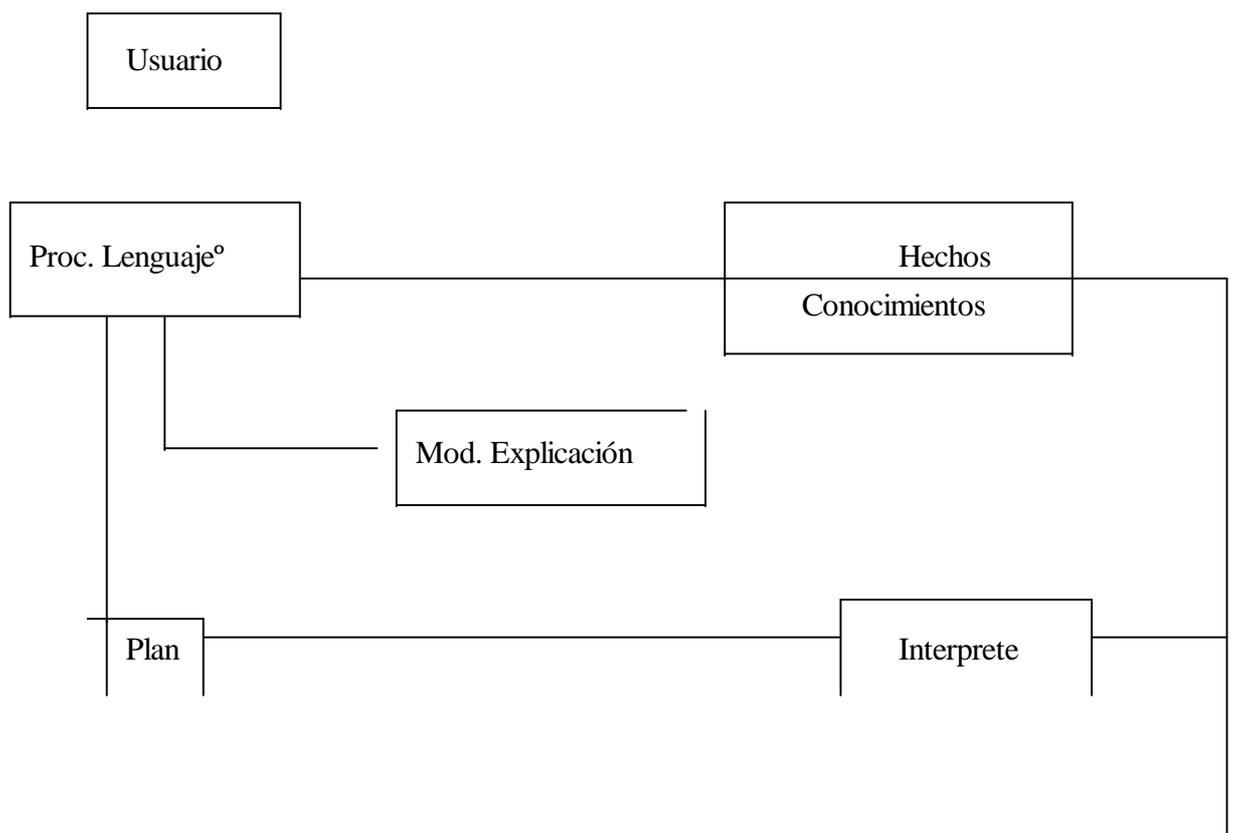
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.1.- Anatomía de un Sistema Experto.

En la Figura 1 se nos muestran algunos componentes de los sistemas expertos .

Los Sistemas Expertos están compuestos principalmente por dos partes:

- **El Entorno de desarrollo**, que es usado por el constructor del Sistema Experto para introducir el conocimiento experto.
- **El Entorno de Consulta**, es usado por un no-experto para obtener conocimiento experto y consejos.



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

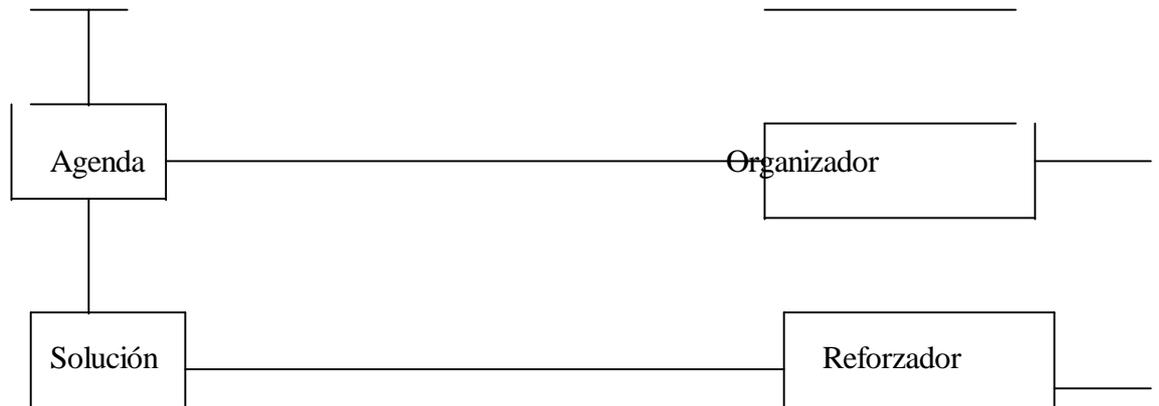


FIGURA 1

Componentes que podemos encontrar en un Sistema Experto sofisticado:

La adquisición del conocimiento es la acumulación, transferencia y transformación de pericia para la solución de problemas, desde la fuente de conocimiento hasta un programa de computadora.

La adquisición del conocimiento es la acumulación, transferencia y transformación de pericia para la solución de problemas, desde la fuente de conocimiento hasta un programa de contadora.

La adquisición del conocimiento es una tarea compleja, se necesita un ingeniero del conocimiento para interactuar con uno o más expertos humanos en la construcción de la base de conocimiento. El ingeniero ayuda al experto estructurando el área del problema para interpretar e integrar las respuestas humanas a las cuestiones.

2.- Base del conocimiento

La información de esta base es necesaria para comprender, formular y solucionar el problema. En ella se incluyen dos elementos básicos: Los hechos (base de datos) y heurísticas especiales que digieren el uso del conocimiento para solucionar el problema en un dominio concreto.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las heurísticas expresan juicios no formales del conocimiento en un área de aplicación.

También son incluidas en la base de conocimiento estrategias globales las cuales están formadas por heurísticas y partes de la teoría del área del problema.

El conocimiento y no los hechos es la materia prima de los sistemas Expertos.

La información en la base de conocimiento es introducida en la computadora por un proceso llamado representación del conocimiento.

3. El motor de inferencia

Es en cierto modo el “cerebro” de los Sistemas Expertos, es conocido también como estructura de control o interpretador de reglas.

Se trata de un programa de computadora que posee una metodología para razonar acerca de la información de la base del conocimiento y de blackboard, y para formular conclusiones. Es el encargado de tomar las decisiones de como usar el conocimiento del sistema para el desarrollo de la agenda que organiza y controla los pasos dados para solucionar los problemas actuales.

Consta de los siguientes componentes principalmente:

- Un interpretador:

Ejecuta el ítem escogido de la agenda, aplicando la correspondiente regla de la base de conocimiento.

- Un organizador (scheduler)

Mantiene el control sobre la agenda y determina las acciones que están pendientes de ser ejecutadas. Da una prioridad a cada ítem de la agenda.

Debe estimar los efectos de la aplicación de diferentes reglas. Necesita establecer una prioridad acorde con el plan a establecer, sobre los distintos ítems de la agenda.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Un reforzador de consistencia

Añade nuevas conclusiones a la base de conocimiento. Intenta mantener una representación consistente de la solución.

4. La Pizarra

Se trata de una zona de memoria utilizada como área de trabajo, en la que se introduce la descripción del problema actual (especificado por la entrada de datos), así como hipótesis, decisiones y resultados intermedios. Tres tipos de decisiones son almacenadas aquí:

- Un plan describe como debemos atacar el problema para alcanzar el objetivo.

-La agenda

Recoge las acciones que están esperando a ser ejecutadas.

La solución elemental

Representa las hipótesis candidatas y las decisiones que el sistema ha generado por el momento y las dependencias que relacionan unas decisiones con otras.

5. Interface de usuario

Los Sistemas Expertos contienen un procesador del lenguaje para evitar los problemas de comunicación entre el usuario y la computadora. Esta información podría ser introducida en lenguaje natural y en algunos casos mediante gráficos.

6. Subsistema de explicación (justificador)

La habilidad de seguir el rastro del razonamiento hasta llegar a la conclusión obtenida es muy importante en la transferencia de la experiencia y en la solución del problema, de esto es de lo que se encarga el subsistema de explicación, que también es capaz de explicar el comportamiento del Sistema Experto interactivamente respondiendo a cuestiones tales como:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- ¿De qué modo una conclusión fue alcanzada?
- ¿por qué una cierta alternativa se rechazó?
- ¿Cuál fue el plan para alcanzar la solución?

7. El programa de refinamiento del conocimiento

Los expertos humanos son capaces de analizar su propio trabajo, aprender y mejorar para futuros problemas. Esto se está intentando llevar a cabo en el plano de los Sistemas Expertos aunque aun está en fase de experimentación.

La mayoría de los Sistemas Expertos no posee el módulo de refinamiento del conocimiento. En realidad no todos los Sistemas Expertos poseen todos los componentes sino que existen muchas variaciones en el contenido y capacidades de cada componente del Sistema Experto.

3.2. Fases del trabajo de un Ingeniero del Conocimiento

El proceso es parecido a un Ingeniero de Software, con la diferencia, en el énfasis que se da a los procedimientos y a los datos, diferenciándose bien ambas cosas. Este procedimiento (motor de inferencia) se puede usar en varios sistemas, siempre que se conserve la estructura.

Las distintas etapas de la Adquisición de Conocimiento son:

1.- IDENTIFICACION.

El Ingeniero del conocimiento y el experto trabajan juntos para identificar el área del problema y definir el alcance de éste, identificando los participantes en el proceso de desarrollo, determinando los recursos necesarios y decidiendo sobre los objetivos y las metas del sistema.

Algunas de las preguntas a contestar son:

- 1.- ¿Qué clase de problemas debe resolver el sistema experto?
- 2.- ¿Porqué están caracterizados o definidos esos problemas?
- 3.- ¿Cuáles son los subproblemas o particularidades importantes de las tareas?

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

4.- ¿Cuáles son los datos?

5.- ¿Cuáles son los términos importantes y sus interrelaciones?

6.- ¿Cómo hacer una solución parecida , y cuales son los conceptos usados en ella?

7.- ¿Qué aspectos del experto humano son esenciales en la solución de esos problemas?.

8.- ¿Cuál es la naturaleza y extensión del conocimiento relevante, que es fundamento de la solución humana?

9.- ¿Qué soluciones pueden impedir probablemente la solución?

10.- ¿Cómo pueden esos impedimentos afectar al sistema experto?

2.- CONCEPTUALIZACION

El experto y el ingeniero del conocimiento definen los conceptos, claves, relaciones e información-flujo características necesarias para describir el proceso problema-solución en el dominio dado, y especificando subáreas, estrategias y restricciones relacionadas con la actividad problema-solución.

Como por ejemplo:

1.- ¿Qué tipos de datos son útiles?

2.-¿ Cuáles son conocidos y cuáles inferidos?

3.-¿Cuál es el nombre de las estrategias?

4.- ¿Cuál es el nombre de las subáreas?

5.- ¿Son parcialmente identificables las hipótesis usadas?. ¿Cuáles son?.

6.- ¿Cuáles son los objetos relacionados con el dominio?

7.- ¿Puede una jerarquía ser expresada en un diagrama y relaciones parte / todo?

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

8.- ¿Qué procesos están involucrados en la solución del problema?

9.- ¿Cuáles son las restricciones de esos procesos?

10.- ¿Cuál es el flujo de información?

11.- ¿Cuando el problema-solución del conocimiento y la defensa del conocimiento deben ser

3.- FORMALIZACIÓN.

Los conceptos claves y relaciones son expresados en una representación formal propuesta por algún sistema experto, herramienta o lenguaje.

Tres factores importantes en el proceso de formalización son:

- 1.- El espacio de la hipótesis.
- 2.- El modelo fundamental del proceso.
- 3.- Las características de los datos.

¿Cómo forma la unión de los conceptos las hipótesis? La granularidad y estructura de los conceptos deben haber sido decididos, y la naturaleza de los datos deben ser entendida:

- 1.- ¿Son los datos escasos e insuficientes o abundantes y redundantes?
- 2.- ¿Hay dudas asociadas a los datos?
- 3.- ¿Depende la interpretación lógica de los datos de su orden de aparición temporal?
- 4.- ¿Cuál es el coste de la adquisición de los datos?.

5.- ¿Cómo ha sido adquirido o sacado el dato? ¿Qué tipos de preguntas necesitan ser preguntados para obtener el dato?

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

6. - ¿Cómo pueden reconocerse ciertas características de los datos cuando son extraídos de un flujo?.

7.- ¿Son los datos seguros, exactos o precisos (duros) o son inseguros, inexactos o imprecisos (blandos)?

8.- ¿Son los datos consistentes y completos para los problemas a resolver?

4.- IMPLEMENTACION.

El ingeniero del conocimiento combina, reorganiza y formaliza el conocimiento para formar un flujo de información compatible con las características del problema, resultando un programa prototipo capaz de ser ejecutado y probado.

5.- PRUEBAS

La ejecución del prototipo es evaluada y revisada conforme a los estándares definidos por los expertos en el dominio del problema. Normalmente este es un proceso iterativo: El experto evalúa la ejecución del programa y el ingeniero revisa la base de conocimiento.

Los pasos a seguir para la Adquisición de conocimiento son:

.- Paso 1. Definición inicial del programa

Descripción inicial del paso:

.- Se definirá el cometido del problema con toda la claridad y profundidad como sea posible.

.- Se seleccionará la solución apropiada.

.- Se identificarán todos los inconvenientes potenciales (SCAN).

1.1.- Identificar los fines y requerimientos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.2.- Identificar las soluciones potenciales.

1.3.- Identificar los riesgos, costes y beneficios para cada solución parcial.

1.4.- Seleccionar una solución potencial.

1.5.- Completar el SCAN y empezar un plan conceptual para el diseño, desarrollo e implementación del sistema experto.

.- Paso 2. Construcción del prototipo Inicial.

Descripción del paso:

.- Se prototipa la solución escogida, para determinar la factibilidad del problema.

.- Se definen los límites del problema.

.- Se describe la documentación.

.- Se obtiene la consolidación.

2.1.- Establecimiento del equipo de desarrollo del equipo inicial:

.- Ingeniero del conocimiento

.- Experto en el dominio.

.- Empresario.

2.2.- Ingeniero del conocimiento.

.- Estudio de la terminología del dominio de la tarea.

.- Intervención del experto para comprender el problema del dominio.

2.3.- Alcance y limitación del problema.

2.4.-- Identificación restrictiva de los cometidos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.5.- Identificación anticipada de la naturaleza y el nivel de apoyo después de la implementación.

2.6.- Esbozo de los macros y módulos.

2.7.- Escribir la identificación del plan de negocios inicial:

- .- El cometido de los negocios.
- .- La solución potencial.
- .- Los riesgos, costes y beneficios.
- .- Las organizaciones implícitas.

2.8.- Presentación del plan de negocio inicial a la organización y demostración de que el prototipo inicial es factible.

2.9.- Desarrollo del plan inicial de consolidación.

2.10.- Reiterar los pasos desde el 2.2 al 2.9, hasta que la consolidación sea aceptada por la organización o el proyecto sea rechazado.

2.11.- Desarrollo del informe aprobado.

2.13.- Revisión / Modificación de los módulos.

.- Paso 3. **Plan del Programa**

Descripción del paso:

- . - Se adquieren los miembros del equipo.
- .
- . - Se designa la dirección del programa.
- .
- . - Se desarrolla un programa inicial.

3.1.- Se selecciona el director del programa.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.2.- El director del programa revisa pasos 1 y 2.

3.3.- Se determina la destreza del conjunto de requerimientos del equipo de l programa.

3.4.- Se escogen los miembros del equipo del programa.

3.5.- El equipo del programa revisa los pasos 1 y 2.

3.6.- Se clasifica el director del equipo y papeles:

.- Objetivos.

.- Metas.

.- Pasos.

.- Responsabilidad.

3.7.- Definir estrategia.

3.8.- Continuar el proceso para obtener e identificar la consolidación en el plan de consolidación.

3.9.- Seleccionar el comité de dirección.

3.10.- Desarrollo del plan del programa:

.- Tareas.

.- Plan.

.- Personas responsables.

3.11.- Selección del equipo de proyecto.

3.12.- Determinar el plan de adiestramiento para los miembros del equipo.

3.- Paso 4 **Educación**

Descripción del paso.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

.- Educación Tecnológica de los miembros.

.- Destreza técnica.

.- Dominio del problema.

. - Participación del diseño de sistemas.

. - Establecimiento del papel.

. - Desarrollo de una estrategia de comunicación.

4.1.- Implementación del plan de entrenamiento.

. - Entrenamiento tecnológico.

- Entrenamiento técnico.

.- Entrenamiento en el dominio del problema.

.- Dirección participativa en el diseño del entrenamiento.

4.2.A.- Identificar los usuarios finales y los expertos adicionales en las tareas.

4.2.B.- Decidir un plan efectivo para comprender el tema en el proyecto.

4.2.C.- Impacto en los usuarios.

4.3.- Determinar métodos de comunicación y estrategia.

.- Paso 5. **Documentación.**

Descripción del paso:

. - Crear una documentación inicial detallada.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

. - Desarrollar los planos del proyecto.

5.1.- Crear documentación inicial detallada para el almacén básico.

5.2.- Desarrollo del plan del programa.

. - Tareas.

. - Plan.

. - Personas responsables.

5.3.- Escribir plan de evaluación.

. - Escoger personas para escribir el plan.

. - Definir parámetros.

5.4.- Desarrollo del cambio de procesos a procedimientos.

5.5.- Requerimientos de hardware necesarios.

.- Paso 6. **Almacén básico**

Descripción del paso:

. - Construcción del almacén básico.

. - Modificación de este, hasta que se este de acuerdo con el sistema..

6.1.- Implementar un plan para incluir las tareas expertas y los usuarios finales en la construcción del almacén básico.

6.2.- Desarrollo del plan de transición adaptativa.

. - Posición del sistema en el proceso de la empresa.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- . - Refinamiento de la estrategia co-residente.
- . - Definición de la organización y requerimientos del sistema.
- . - Obtención de la consolidación de la organización para el plan.

6.3.- Construcción del armazón básico.

6.4.- Uso del armazón por una representación de los expertos y usuarios finales.

6.5.- Realizar los cambios necesarios para que el armazón básico sea técnicamente manejable y sólido.

- . - Este se adapta a los fines de la empresa o el problema.
 - .- Se utiliza la tecnología apropiada del mejor modo posible.
- . - Satisfacer las necesidades de los usuarios.

6.6.- Evaluar los riesgos, costes y beneficios de los cambios.

6.7.- Revisar los pasos del 6.3 al 6.6. hasta que la representación de expertos y usuarios finales estén satisfechos de la revisión del armazón básico.

6.8.- Escribir un detallado plan de empresa.

6.9.- Presentar el plan a la dirección mostrar el sistema para obtener confirmación para los pasos 7 y el 8.

6.10.- Eliminar el sistema actual (si existe)

.- Paso 7. **Desarrollo adaptativo.**

Descripción del paso:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

.- Ampliar el sistema obtenido tras el paso 6, hasta que esté al nivel esperado por el experto.

7.1.- Revisión técnica y operacional de la factibilidad del sistema.

7.2.- Escribir o revisar el documento del diseño formal.

7.3.- Implementar un plan para incluir las tareas expertas y los usuarios finales añadiendo la pericia al sistema.

7.4.- Añadir la pericia al sistema (requiere una reescritura del código existente).

7.5.- Evaluación periódica de la construcción del sistema.

. - Revaluar el proceso de la empresa y asegurarse de que el sistema es capaz de soportarlo.

.- Reevaluar la construcción y adecuación técnica del sistema.

.. - Establecer un proceso de ayuda a los usuarios finales para mostrar las implicaciones de usar el sistema.

7.6.- Repetir los pasos 7.4 y 7.5 hasta que los objetivos sean satisfechos.

7.7.- Desarrollo inicial de la documentación para el campo de los test (Manuales, Guías de Usuario,.....)

7.8.- Desarrollo del proceso cíclico de lanzamiento.

. - Lanzamiento del procedimiento fuera del grupo de desarrollo.

. - Idem dentro del grupo receptor.

7.9.- Construcción de las conexiones con otros sistemas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

7.10.- Escribir el plan de pruebas de aceptación y aprobarlo para el campo de las pruebas.

.- Paso 8. Conjunto de pruebas.

Descripción del paso:

. - La organización evalúa el sistema en el entorno del usuario.

8.1.- Evaluación de los mecanismos de entrenamiento.

8.2.- Determinar un proceso de integración para entrenar al grupo de usuarios finales.

8.3.- Instalar el sistema en la organización del usuario para pruebas.

8.4.- El jefe de la empresa o una persona designada acepta las pruebas, basándose en la aceptación del sistema por los usuarios finales.

8.5.- Modificar la documentación de usuario y desarrollar la documentación.

8.6.- Escribir un plan detallado de implementación.

. - Reasegurar la adaptación del sistema a la empresa.

. - Refinar la estrategia co-residente.

. - Definir requerimientos de la organización del sistema.

. - Obtener autorización de la organización para el plan.

.- Paso 9 . Lanzamiento del producto a la producción.

Descripción del paso:

. - Una vez instalado el sistema entrenamos los usuarios y establecemos una respuesta al problema.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

9.1.- La organización expresa su opinión acerca del plan de implementación desarrollado en el paso 8.6.

- . - Completar e instalar la organización y los requerimientos del sistema.
- . - Entrenar lo usuarios.
- . - Implementar el proceso de lanzamiento.
- . - Implementar estrategias co-residentes.

9.2.- Implementar un proceso para obtener y responder conceptos concernientes a los usuarios finales.

9.3.- Lanzamiento del producto a la producción.

.- Paso 10. **Modo de producción.**

Descripción del paso:

.- Incrementar la pericia del sistema, adaptado a las necesidades de la empresa y transportarlo a otros sitios y organizaciones..

10.1.- La organización continuará añadiendo pericia al sistema.

10.2.- Evaluación del sistema.

10.3.- Si se planea el transporte del sistema a otro sitio :

- .- seleccionar un usuario final de la organización en el nuevo sitio.
- .- Ayuda para determinar si el sistema es satisfactible.
- . - Determinar los mecanismos necesarios para implementar el sistema.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Completar pasos 8 y 9 en el nuevo lugar.

3.3.- Ventajas que ofrecen los Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos proporcionan las siguientes ventajas a los usuarios:

1. Aumentan las salidas

Los Sistemas Expertos pueden trabajar más rápido que los humanos,. Para su funcionamiento bastan unos pocos trabajadores y se consigue una reducción de los costes.

2.-Aumentan la calidad

Para ello suministran informes consistentes y reduciendo la proporción de error.

3.- Reducen el tiempo muerto

Por ejemplo un día de tiempo muerto en una ‘ zona de perforación” puede costar unos 250000 dolares si establecemos un sistema experto que evite esta paralización se pueden evitar grandes pérdidas de dinero.

4.- Solucionan el problema de la escasez de expertos

La escasez de expertos existe, evidentemente, donde no hay suficientes expertos para una tarea. Los expertos además se retiran o dejan el trabajo, o son necesitados en un lugar concreto.

5.- Flexibilidad

Los Sistemas Expertos ofrecen flexibilidad tanto al suministrar un servicio como en la predicción.

6.- Operatividad sobre el equipamiento

Los Sistemas Expertos realizan fácilmente operaciones sobre sistemas complejos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

7.- Utilizan equipamiento más barato

En muchos casos las personas deben confiar en caros instrumentos para motorizar y controlar. Los Sistemas Expertos pueden realizar las mismas tareas con instrumentos de coste más bajo. Esto es posible gracias a que los recursos de los Sistemas Expertos pueden investigar más rápidamente y con más profundidad la información suministrada por los instrumentos.

8.- Operatividad en entornos peligrosos

Muchas tareas requieren trabajar en entornos peligrosos (tareas militares, entornos calientes, entornos húmedos, entornos tóxicos,...) este trabajo pueden hacerlo los Sistemas Expertos evitando así exponer a las personas innecesariamente.

9.- Seguridad

Los Sistemas Expertos son seguros. No se cansan. Ni enferman, ni se ponen en huelga, ... además prestan atención a todos los detalles y no pasan información relevante a soluciones potenciales.

10.- Tiempo de respuesta.

Responden normalmente de forma más rápida que los humanos, especialmente cuando el volumen de datos es muy grande.

11.- Trabajan con información incompleta e incierta

A veces los usuarios ante ciertas preguntas responde “no lo sé” o “no estoy seguro”, ante esto el Sistema Experto debe ser capaz de producir una respuesta aunque no sea la correcta. Los Sistemas Expertos no tiene que ser tan completos como pueden serlo un conjunto de If, pueden tratar con probabilidades tan grandes como el motor de inferencia sea capaz de tratar.

12.- Beneficios Educaciones.

Los Sistemas Expertos pueden enseñar. Los novatos que trabajan con Sistemas Expertos adquieren más experiencia. La explicación facilitada puede también servir como guía de enseñanza.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

13.- Hacen frente a la resolución de problemas

Los Sistemas Expertos resuelven problemas permitiendo la integración de los juicios de altos expertos en el análisis. También aumenta el entendimiento de los usuarios a través de las explicaciones.

14.- Ayudan al desarrollo de los países transfiriendo el conocimiento.

Uno de los más grandes beneficios de los Sistemas Expertos es la facilidad de transferencia del conocimiento a través de las fronteras internacionales. Por ejemplo en Egipto y en Argelia donde las enfermedades, de los ojos son serias y comunes y el número de oftalmólogos es reducido el uso de un sistema Experto que puede ser usado por ATS, practicantes o enfermeras permite tratarlas con éxito.

15.- Resuelve problemas complejos en un dominio reducido.

3.4.- Problemas que presentan de los Sistemas Expertos

Aquí se presentan algunos de los factores y problemas que han inhibido la difusión de los Sistemas Expertos.

- No siempre podemos disponer del conocimiento.
- Es difícil extraer la experiencia de los expertos.
- El enfoque de cada experto sobre la valoración de una situación puede ser distinto, hay que revisarlos.
- Es difícil, para un experto de alto nivel, abstraerse y conseguir una buena valoración de una situación cuando está bajo presión.
- Los usuarios de los Sistemas Expertos tienen límites naturales. Los humanos estamos preparados para ver errores que caen dentro de un espacio reducido de atención.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Los Sistemas Expertos trabajan muy bien en dominios reducidos, en algunos casos muy reducidos.

- La mayoría de los Sistemas Expertos no tienen medios independientes para chequear cuando sus conclusiones son razonables.

- El vocabulario que los expertos utilizan para expresar hechos y relaciones es frecuentemente limitado y no entendible por otros.

- Es frecuente necesitar la ayuda de los ingenieros del conocimiento que son escasos y caros, esto hace que la construcción de los Sistemas Expertos sea más bien costosa.

- Los Sistemas Expertos se equivocan, ya que están diseñados para comportarse como expertos, generalmente producen respuestas correctas, pero a veces producen incorrecciones, de todas formas tienen capacidad para aprender de sus propios errores.

4.- Arquitectura de un Sistema Experto.

4.1.- Arquitectura

La arquitectura es la ciencia y métodos de asignación de una determinada estructura al sistema experto, lo cual permite una resolución de los problemas inteligentes más eficaz.

MYCIN

Utiliza una búsqueda exhaustiva hacia atrás. Razona sobre un árbol de decisión. Colecciona datos para las posibles conclusiones y relaciona los antecedentes de las condiciones. Su algoritmo para determinar factores de certeza, proviene de una técnica heurística para combinar datos inciertos e incompletos mediante reglas de inferencia.

El método de MYCIN puede diagnosticar e interpretar problemas con una cierta complejidad. Problemas caracterizados por una pequeña búsqueda, con datos ciertos, y conocimientos ciertos, que permiten un sistema de arquitectura simple.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

HEARSAY-II

Sus diseños se caracterizan porque soportan esquemas de razonamientos sofisticados. La complejidad del problema que trata es la causa de estos diseños.

En contraste con MYCIN, HEARSAY-II trata con problemas que requieren una arquitectura especial. Las características de estos problemas incluyen datos o conocimientos poco fiables, un gran espacio de búsqueda de soluciones posibles, inadecuados métodos para evaluar soluciones parciales, falta de una secuencia segura que solucione el problema, interacción entre decisiones que se relacionan subproblemas distintos, la necesidad de separar subsoluciones para ayudar al análisis, ausencia de un modelo de resolución de problemas que determine que línea de razonamiento seguir, la necesidad de integrar diversos tipos de conocimiento en un único sistema de resolución de problemas y la necesidad de una forma de representar el conocimiento.

HEARSAY-II resuelve los diversos problemas organizándose como una colección de cooperadores especialistas en distintos temas. Este tipo de cooperación ha sido adoptado por distintas aplicaciones como:

- Cristalografía de proteicas.

- Programación automática.....

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 3: REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO DE UN SISTEMA EXPERTO MEDIANTE EL LENGUAJE DE LA LOGICA.

1.- Lógica de Predicados

1.1.- Introducción

1.2.- Lógica de predicados. Comparación en la lógica proposicional.

1.3.- Funciones y predicados calculables en la lógica de Predicados.

1.4.- Resolución.

1.4.1.- Conversión fórmula cláusula

1.4.2.- Las bases de la Resolución

1.4.3.- La Resolución en la Lógica Proposicional.

1.4.4.- El algoritmo de unificación

1.4.5.- Resolución de predicados.

1.4.6.- Ventajas e inconvenientes de la Resolución.

2.- Lógicas no clásicas

2.1.- Introducción

2.2.- Lógicas Multi-Ordenadas

2.2.1.- Lógicas Multi-Ordenadas con cuantificación restringida.

2.2.2.- Lógicas Multi-Ordenadas más expresivas.

2.3.- Lógicas situacionales.

2.4.- Lógica no monótona

2.5.- Lógica multivaluada

2.5.1.- Lógica de Lukasiewicz.

2.5.2.- Lógica de Kleene.

2.5.3.- Lógica de Bochvar.

2.6.- Lógica Fuzzy

2.6.1.- Lógica Fuzzy para conjuntos

2.7.- Lógicas Modales.

.- Tipo de modalidades

.- Mundo posible

.- Relación de Accesibilidad.

.- Noción de verdad necesaria y posible.

2.7.1.- Reglas de inferencia especiales y Axiomas.

2.7.2.- Propiedades Modales de proposiciones.

Fórmulas

2.7.3.- Propiedades y Relaciones entre conjuntos de proposiciones.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.7.4.- Lógica modal de predicados.

2.8.- Lógica temporal.

2.8.1.- Acomodar el tiempo en la lógica de predicados de primer orden.

2.8.2.- Lógica temporal basa en Modalidad.

3.- Representación mediante reglas de producción.

3.1.- Introducción

3.2.- Expresiones

3.3.- Las reglas.

3.3.1.- Funcionamiento de una regla.

3.3.2.- Característica de la regla.

3.3.3.- Simplificación y agrupación de reglas.

3.3.4.- Herramientas para la construcción de reglas.

3.3.5.- Validación de un S.E. de Reglas.

TEMA 3

REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO MEDIANTE EL LENGUAJE DE LA LOGICA

1.- Lógica de Predicados.

1.1.- Introducción.

Cuando se resuelva un problema complejo en I.A., se necesita una gran cantidad de conocimiento y mecanismos para manipular dicho conocimiento a fin de crear soluciones a problemas nuevos.

Los programas de I.A., han explorado diversas formas de representación del conocimiento (hechos). Pero antes de poder hablar de cada uno de ellos debemos considerar el siguiente punto que surge en todas las discusiones de representación, a saber, que estamos tratando con dos clases de entidades diferentes:

.- Hechos: verdades en algún modo relevantes. Estas son las cosas que queremos representar.

.- Representaciones de los hechos en algún formalismo elegido. Estas son las cosas que realmente podremos manipular.

Para que las representaciones sean de algún interés en el mundo real, deben existir también algunas funciones que

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

conviertan los hechos en representaciones y las representaciones otra vez a hechos.

Teniendo esto en cuenta, podemos empezar a explorar una forma particular de representación de hechos, el lenguaje de la lógica. Otros formalismos representacionales se discutirán en capítulos posteriores.

1.2.- LOGICA DE PREDICADOS: COMPARACION CON LA LOGICA PROPOSICIONAL

El formalismo lógico es atractivo puesto que sugiere inmediatamente una potente forma de derivar nuevos conocimientos de los antiguos: La deducción matemática. En este formalismo, podemos concluir que una nueva sentencia es cierta demostrando que se deduce de las sentencias ya conocidas. Así, puede entenderse la idea de demostración, tal como se ha desarrollado en matemáticas como forma rigurosa de demostrar la verdad de una proposición que se cree cierta, para incluir la deducción como forma de derivar respuestas a cuestiones y solucionar problemas.

Exploremos, en primer lugar, el uso de la lógica proposicional como forma de representar la clase de conocimiento acerca del mundo que puede necesitar un sistema de I.A. La lógica proposicional es atractiva porque es sencilla de manejar y existe para ella un procedimiento de decisión. Podemos representar fácilmente los hechos del mundo real mediante proposiciones lógicas escritas tal como fórmulas bien formadas (fbf) en lógica proposicional, tal como se muestra a continuación:

Está lloviendo
LLOVIENDO

Está haciendo sol
HACIENDO SOL

Está haciendo viento
HACIENDO VIENTO

Si está lloviendo, entonces no está haciendo sol.

LLOVIENDO _____ HACIENDO SOL

Usando estas proposiciones podríamos deducir, por ejemplo, que si llueve no hace sol.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Pero pronto nos revelaremos contra las limitaciones de la lógica proposicional. Supongamos que queremos representar el hecho obvio expuesto por la clásica frase:

Socrates es un hombre.

Podríamos escribir

SOCRATES HOMBRE

Pero si queremos representar también

Platón es un hombre

tendríamos que escribir algo como

PLATON HOMBRE

que sería una aserción totalmente separada y no seríamos capaces de sacar ninguna conclusión sobre las similitudes entre Sócrates y Platón. Sería mucho mejor representar estos hechos como:

HOMBRE (SOCRATES)

HOMBRE (PLATON)

Puesto que ahora la estructura de la representación refleja la estructura del conocimiento mismo. Tenemos incluso más dificultades si intentamos representar la igualmente clásica frase:

Todos los hombres son mortales.

Porque ahora necesitamos realmente la cuantificación, a menos que deseemos escribir frases separadas acerca de la mortalidad de cada hombre conocido.

Así, parece que estamos forzados trasladarnos a la lógica de predicados. En lógica de predicados podemos representar los hechos del mundo real como declaraciones escritas como fbf .

La lógica de predicados proporciona una forma de deducir nuevas declaraciones a partir de las viejas. Desafortunadamente, a diferencia de la lógica proposicional, no posee un procedimiento de decisión, pero a pesar de esto la lógica de predicados, puede servir aun como forma útil de representar y manipular algunas clases de conocimiento que podrían necesitar los sistemas de I.A.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Exploremos ahora el uso de la lógica de predicados como forma de representación del conocimiento, observando un ejemplo concreto. Consideremos el siguiente conjunto de frases:

1. Marco era un hombre.
2. Marco era pompeyano.
3. Todos los pompeyanos eran romanos.
4. César era un gobernante.
5. Los romanos. O bien eran leales a César o bien lo odiaban.
6. Todo el mundo es leal a alguien.
7. La gente no sólo intenta asesinar a aquellos gobernadores de los que no son leales.
8. Marco intentó asesinar a Cesar

Los hechos descritos en estas frases pueden representarse en lógica de predicados como un conjunto de fbf como sigue:

1. Marco era un hombre.

Hombre (Marco)

2. Marco era un pompeyano

pompeyano (marco)

3. Todos los pompeyanos eran romanos.

$\forall x \text{ pompeyano } (x) \Rightarrow \text{romano } (x)$

4. Cesar era un gobernante

gobernante (Cesar)

5. Todos los romanos, o bien eran leales a Cesar, o bien le odiaban.

$\forall x \text{ romano} \Rightarrow ((\text{leal } (x, \text{Cesar}) \vee \text{odia } (x, \text{Cesar})) \wedge (\text{leal } (x, \text{Cesar}) \wedge \text{odia } (x, \text{Cesar})))$

Esto también se podría haber puesto de la siguiente forma:

$\forall x \text{ romano} \Rightarrow (\text{leal } (x, \text{Cesar}) \vee \text{odia } (x, \text{Cesar}))$

6. Todo el mundo es leal a alguien.

$\forall x \exists y \text{ leal } (x, y)$

7. La gente sólo intenta asesinar a los gobernantes a los cuales no son leales.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\forall x \forall y \text{ persona } (x) \wedge \text{ gobernante } (y) \wedge \text{ intenta asesinar } (x,y) \Rightarrow \text{ leal } (x,y)$$

8. Marco intentó asesinar a Cesar.
Intenta asesinar (Marco, Cesar)

Supongamos que ahora queremos usar esas declaraciones para contestar a la pregunta:
¿Fue Marco leal a Cesar?

Parece que usando 7 y 8 podríamos demostrar que Marco no era leal a Cesar. Intentemos producir una demostración formal, razonando hacia atrás desde la meta deseada.

Leal (Marco, Cesar)

El problema es que, aunque sabemos que Marco era un hombre, no tenemos ninguna forma de concluir de eso que Marco fuese una persona. Debemos añadir la representación de otro hecho a nuestro sistema, a saber:

$$\forall x \text{ hombre } (x) \Rightarrow \text{ persona } (x)$$

Ahora ya podemos satisfacer la última meta y demostrar que Marco no era leal a Cesar.

Leal (Marco, Cesar)

↓ 7

Persona (Marco) \wedge
gobernante (Cesar) \wedge
intentarasesinar (Marco, Cesar)

↓ 4

Persona (Marco) \wedge
intentarasesinar (Marco, Cesar)

↓ 8

Persona (Marco)

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

A partir de este ejemplo, vemos que debemos considerar tres puntos importantes en el proceso de convertir sentencias castellanas a declaraciones lógicas y usar esos elementos para deducir a continuación otros nuevos:

.-Muchas frases castellanas son ambiguas (5, 6, 7). Elegir la interpretación correcta puede ser difícil.

.-A menudo podemos elegir diversas formas de representar el conocimiento. Las representaciones simples son deseables, pero pueden impedir ciertas clases de razonamientos. La representación conveniente para un conjunto concreto de frases depende del uso que se vaya a hacer del conocimiento contenido en ellas.

.-No es probable, ni siquiera en situaciones muy sencillas, que el conjunto de frases contenga toda la información necesaria para razonar sobre el tópico que tratemos. Para poder usar un conjunto de frases con efectividad, usualmente es necesario poder acceder a otro conjunto de frases con efectividad, usualmente es necesario poder acceder a otro conjunto de frases que representan hechos que la gente considera demasiado obvios para mencionarlos.

Surge un problema en aquellas situaciones donde no sabemos de antemano que asertos deducir. En el ejemplo que acabamos de presentar, el objetivo era contestar a la cuestión "¿Era Marco leal a Cesar?". Nos preguntamos como un programa podría decidir si debería intentar demostrar.

Leal (Marco, Cesar)

o

\neg leal (Marco, Cesar)

Podría hacerlo de diversas formas:

Podría abandonar la estrategia que hemos expuesto de razonamiento hacia atrás desde una verdad propuesta hacia los axiomas. El problema con este enfoque es que, en general, . El factor de ramificación yendo hacia delante a partir de los axiomas es tan grande que probablemente no llegaríamos a ninguna de las respuestas en una cantidad razonable de tiempo.

Una segunda cosa que podríamos hacer es usar alguna clase de reglas heurísticas para decidir que respuesta es más probable, e intentar demostrar esta en primer lugar. Si fracasamos en encontrar una demostración después de una cantidad razonable de esfuerzo, podemos intentar la otra respuesta. Esta noción de esfuerzo limitado es importante, puesto que cualquiera que sea el procedimiento de demostración que usemos, puede no terminar nunca si llega a un no-teorema.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Otra cosa que podemos hacer es, simplemente, intentar demostrar ambas respuestas simultáneamente y parar cuando una de las dos tenga éxito. Por otra parte, aún en este último caso, si no tenemos suficiente información disponible para responder a la cuestión con certeza, el programa puede no parar nunca.

Aún hay una cuarta estrategia que consiste en intentar tanto demostrar una respuesta como demostrar su falsedad usando la información obtenida en uno de los procesos para guiar al otro.

1.3.- FUNCIONES Y PREDICADOS CALCULABLES EN LA LOGICA DE PREDICADOS

En el ejemplo que exploramos en la última sección, todos los hechos simples, se expresaban como combinaciones de predicados individuales, tales como:

intentarasesinar (Marco, Cesar)

Esto es correcto si el número de hechos no es muy elevado o si los hechos mismos están lo suficientemente desestructurados como para que haya muchas alternativas. Pero supongamos que queremos expresar hechos simples tales como:

mayor (1,0)	menor (0,1)
mayor (2,1)	menor (1,2)
mayor (3,2)	menor (2,3)

Es evidente que no queremos tener que transcribir la representación de cada uno de estos hechos individualmente. Por una parte, existe una infinidad de ellos. Pero aunque sólo considerásemos el número finito de los que pueden representarse digamos, usando una única palabra de la máquina por cada número, sería extremadamente ineficiente almacenar explícitamente un conjunto de declaraciones tan grande, cuando podemos, en su lugar, calcularlos fácilmente conforme las vayamos necesitando.

Así pues, es útil aumentar nuestra representación mediante estos predicados calculables. Cualquiera que sea el procedimiento de demostración que usemos, al tropezar con uno de estos predicados, en lugar de buscarlos explícitamente en la base de datos o intentar deducirla por razonamiento adicional, podemos simplemente llamar a un procedimiento, que debemos especificar además de nuestras reglas habituales, el cual la evaluará y devolverá verdadero o falso.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

A menudo es útil tener funciones calculables junto con los predicados calculables. Así podríamos evaluar la verdad de

mayor /24,31)

El siguiente ejemplo muestra como pueden ser útiles las ideas de funciones y predicados calculables.

Consideremos el siguiente conjunto de hechos, que de nuevo atañen a Marco:

1. Marco era un hombre
2. Marco era un pompeyano
3. Marco nació en el 40 d. C.
4. Todos los hombres son mortales.
5. Todos los pompeyanos murieron cuando erupcionó el volcán en el año 79 d. C.
6. Ningún mortal vive más de 150 años.
7. Ahora estamos en 1983.

Supongamos ahora que queremos responder a la cuestión "¿Esta vivo Marco?".

Tan pronto como intentamos resolver es cuestión descubrimos, que necesitamos un poco de conocimiento adicional:

1. Vivo significa no muerto.
2. Si alguien muere, entonces está muerto para todos los tiempos posteriores.

Intentemos a continuación responder a la pregunta "¿Está vivo Marco?" demostrando

vivo (Marco, ahora)

Resolveremos este problema, teniendo en cuenta lo siguiente:

*Incluso conclusiones muy simples pueden requerir pasos para su demostración.

*En la producción de una demostración se involucran gran variedad de procesos tales como emparejamiento, sustitución y

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

aplicación del modus ponens. Esto es cierto incluso para frases simples que estamos usando. Sería peor si tuviésemos implicaciones con más de un único término en la parte derecha, o con complicadas expresiones que incluyan y's y o's en la izquierda..

1. Hombre /(Marco)
2. Pompeyano (Marco)
3. Nacido (Marco, 40)
4. $\forall x$ hombre (x) \Rightarrow mortal (x)
5. $\forall x$ pompeyano (x) \Rightarrow muerto (x,79)
6. Erupción (volcán, 79)
7. $\forall x \forall t_1 \forall t_2$ mortal (x) \wedge nacido (x, t1) \wedge mayor (t2, t1, 150) \Rightarrow murió (x,t2)
8. Ahora =1983
9. $\forall x \forall t$ vivo (x,t) \Leftrightarrow muerto (x,t)
10. $\forall x \forall t_1 \forall t_2$ muerto (x,t1) \wedge mayor (t2,t1) \Rightarrow murió (x, t2)

vivo (Marco, ahora)

↓ 9

muerto (Marco, ahora)

↓ 10

Muerto (Marco, t1) \wedge mayor (ahora, t1)

↓ 5

(Marco) \forall mayor (ahora, 79)

↓ 2

mayor (ahora,79)

↓ 8

mayor (1983,79)

↓ calculamos

∨

nada

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.4 RESOLUCION

La resolución es un procedimiento que obtiene su eficiencia del hecho de que opera con sentencias que han sido convertidas a una forma normalizada muy conveniente, que describiremos más adelante.

La resolución produce sus demostraciones por medio de **refutaciones**. En otras palabras, para demostrar un aserto (es decir, mostrar que es válido), la resolución intenta mostrar que su negación produce una contradicción con los asertos conocidos (es decir que no es satisfactible). Este enfoque contrasta con la técnica que hemos estado usando para generar demostraciones por encadenamiento hacia atrás, a partir del teorema a demostrar hasta los axiomas. La discusión subsiguiente sobre cómo funciona la resolución será mucho más directa después de que hayamos discutido la forma normalizada en que representaremos los asertos, por lo que la diferimos hasta entonces.

1.4.1.- CONVERSION A FORMA CLAUSULA

Supongamos que sabemos que todos los romanos que Marco conocía o bien odiaban a Cesar o creían que cualquiera que odiase está loco. Podemos representar eso en la siguiente fbf:

$$\begin{aligned} & \forall x [\text{romano}(x) \wedge \text{conoce}(x, \text{Marco})] \\ \Rightarrow & \quad [\text{odia}(x, \text{Cesar}) \vee (\forall y (\exists z \text{odia}(y,z) \\ & \Rightarrow \text{creeloco}(x,y))] \end{aligned}$$

Si la fórmula estuviese en una forma más simple, el proceso sería mucho más fácil. Sería fácil trabajar con la fórmula sí:

.-Fuese más sencilla, es decir, que hubiese menos embotamiento de componentes.

.-Los cuantificadores estuviesen separados del resto de la fórmula de manera que no tuviésemos que considerarlos.

La forma normalizada conjuntiva tiene ambas propiedades. Por ejemplo, la fórmula dada anteriormente sobre los sentimientos de los romanos conocidos por Marco, se representarían en forma normalizada conjuntiva como

$$\text{romano}(x) \vee \text{conoce}(x, \text{Marco}) \vee \text{odia}(x, \text{Cesar}) \vee \text{odia}(y,z) \vee \text{creeloco}(x,z)$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El siguiente algoritmo convierte cualquier fbf a la forma normalizada conjuntiva., siguiendo los pasos siguientes:

- 1 Eliminar \Rightarrow , usando el hecho de que $a \Rightarrow b$ es equivalente a $\neg a \vee b$. Realizando esa transformación en las fbf dadas anteriormente obtenemos

$$\forall x \quad [\text{romano}(x, \text{Cesar}) \vee \text{conoce}(x, \text{Marco})] \\ \vee [\text{odia}(x, \text{Cesar}) \vee (\forall y \neg (\exists z \text{odia}(y, z)) \\ \vee \text{creeloco}(x, y))]$$

- 2 Reducir la cantidad de \neg usando el hecho de que $\neg(\neg p) = p$, utilizando las leyes de Morgan $[\neg(a \vee b) = \neg a \wedge \neg b]$, y las correspondencias normales entre cuantificadores $[\neg \forall x P(x) = \exists x \neg P(x)$ y $\neg \exists x P(x) = \forall x \neg P(x)$. Realizando esta transformación en las fbf del paso 1 obtenemos:

$$\forall x [\neg \text{romano}(x) \vee \neg \text{conoce}(x, \text{Marco})] \\ \vee [\text{odia}(x, \text{Cesar}) \vee (\forall y \forall z \neg \text{odia}(y, z) \\ \vee \text{creeloco}(x, y))]$$

- 3 Normalizar las variables de forma que cada cuantificador esté ligado a una única variable. Puesto que las variables son sólo nombres simulados sin un valor concreto, este proceso no puede afectar al valor de verdad de la fbf. Por ejemplo, la fórmula

$$\forall x P(x) \vee \forall x Q(x)$$

se convertiría en

$$\forall x P(x) \vee \forall y Q(y)$$

- 4 Mover todos los cuantificadores a la izquierda de la fórmula sin cambiar su orden relativo. Esto es posible puesto que no existe ningún conflicto entre los nombres de variables. Realizando esta operación sobre la fórmula del paso 2, obtendremos

$$\forall x \forall y \forall z [\neg \text{romano}(x) \vee \neg \text{conoce}(x, \text{Marco})] \\ [\text{odia}(x, \text{Cesar}) \vee (\neg \text{odia}(y, z) \\ \vee \text{creeloco}(x, y))]$$

En este punto la fórmula es lo que conocemos como fórmula normalizada prenexa. Consiste en un prefijo de cuantificadores seguido por una matriz que está libre de cuantificadores.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- 5 Eliminar los cuantificadores existenciales. Una fórmula que contenga una variable cuantificada existencialmente afirma que un valor que puede sustituir a la variable, y que hace verdadera la fórmula. Podemos eliminar el cuantificador sustituyendo la variable por una referencia a una función que produzca el valor deseado. Puesto que no conocemos necesariamente la forma de producir ese valor, debemos crear un nuevo nombre de función para cada reemplazo. No hacemos ninguna afirmación sobre esas funciones excepto que deben existir.

Así por ejemplo, la fórmula

$\exists y \text{ Presidente}(S1)$

puede transformarse en la fórmula

$\text{PRESIDENTE}(S1)$

donde S1 es una función sin argumentos que produce de algún modo un valor que satisface PRESIDENTE

Si surge cuantificadores existenciales dentro del ámbito de cuantificadores universales, los valores que satisfagan el predicado pueden depender de los valores de las variables cuantificadas universalmente. Por ejemplo, en la fórmula

$\forall x \exists y \text{ padre de } (y,x)$

el valor de y que satisfasce padre del valor concreto de x. Por tanto, debemos genrar funciones con elmismo número de argumentos que el número de cuantificadores universales, que afectan a la expresión que estemos tratando.

Así este ejemplo se transformaría en

$\forall x \text{ padre de } (DS2(x), x)$

Estas funciones que generamos se llaman funciones de Skolem. Las que no tienen argumentos se llaman a veces constantes de Skolem.

- 6 Abandonar el prefijo. En este punto, todas las variables que quedan están cuantificadas universalmente, por lo que el prefijo puede ser simplemente ignorado, y cualquier procedimiento de demostración que usemos puede suponer simplemente que cualquier variable que vea está cuantificada universalmente. Ahora la fórmula producida en el paso 4 aparece como

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\begin{aligned} & [\neg \text{romano}(x) \vee \neg \text{conoce}(x, \text{Marco})] \\ & \vee [\text{odia}(x, \text{Cesar}) \vee (\neg \text{odia}(y, z) \\ & \vee \text{creeloco}(x, y)) \end{aligned}$$

- 7 Convertir la matriz en una conjunción de disfunciones. En el caso de nuestro ejemplo, puesto que no existe Y's, lo único que es necesario hacer es explotar la propiedad asociativa de \vee y quitar simplemente los paréntesis, dando

$$\begin{aligned} & \neg \text{romano}(x) \vee \neg \text{conoce}(x, \text{Marco}) \\ \vee & \text{odia}(c, \text{Cesar}) \vee \neg \text{odia}(y, z) \\ & \vee \text{creeloco}(x, y) \end{aligned}$$

sin embargo, frecuentemente es también necesario explorar la propiedad distributiva.

$$[(a \wedge b) \vee c = (a \vee c) \wedge (b \vee c)]$$

- 8 Llamaremos a cada conjunción una cláusula separada. Para que una fbf sea cierta, todas las cláusulas que se han generado a partir de ella deben ser ciertas. Si vamos a trabajar con diversas fbf's. Todas las cláusulas generadas por cada una de ellas deben combinarse ahora para representar el mismo conjunto de hechos que estaban representados por las fbf's originales.

- 9 Normalizar las variables por separado en el conjunto de cláusulas generadas en el paso 8. Con esto queremos decir renombrar las variables de forma que no haya dos cláusulas que hagan referencia a la misma variable. Al realizar esta transformación, nos basamos en el hecho de que

$$(\forall x P(x) \wedge Q(x) = \forall x P(x) \wedge \forall x Q(x))$$

Así, puesto que cada cláusula es una conjunción separada y todas las variables están cuantificadas universalmente, no es necesario que haya ninguna relación entre las variables de dos cláusulas diferentes, ni aunque se hayan generado de la misma fbf

Es importante realizar este paso final de normalización porque durante el procedimiento de resolución a veces será necesario dar valor a una variable cuantificada universalmente. Pero, en general, queremos mantener las cláusulas en su forma más general durante tanto tiempo como podamos. Al dar valor a una variable, queremos conocer el

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

mínimo número de sustituciones que deben realizarse para preservar el valor de verdad del sistema.

Después de aplicar todo este procedimiento a un conjunto de fbf's tendremos un conjunto de cláusulas cada una de las cuales es una disjunción de literales. Estas cláusulas pueden explotarse a continuación mediante el procedimiento de resolución para generar demostraciones.

1.4.2.- LAS BASES DE LA RESOLUCION

El procedimiento de resolución es un proceso iterativo simple en el cual, en cada paso, se comparan (resuelven) dos clausuras llamadas cláusulas padres, produciendo una nueva cláusula que ha inferido de ellas. La nueva cláusula representa formas en que las dos cláusulas padres interaccionan entre sí.

Supongamos que hay dos cláusulas en el sistema:

$$\begin{aligned} & \text{invierno} \vee \text{verano} \\ & \neg \text{invierno} \vee \text{frío} \end{aligned}$$

Recordemos que esto significa que ambas cláusulas deben ser ciertas (es decir, aunque las cláusulas parecen independientes, están realmente conjuntadas).

Ahora vemos que siempre deberá ser cierta una de las dos aseveraciones invierno o \neg invierno. Si invierno es cierto, entonces frío debe de ser vierto para garantizar la verdad de la segunda cláusula. Si \neg invierno es verdad, entonces verano debe de ser cierto para garantizar la verdad de la primera cláusula. Así pues, vemos que de esas dos cláusulas podemos deducir

$$\text{Verano} \vee \text{frío}.$$

Esta es la deducción que hará el procedimiento de resolución. Una resolución opera tomando dos cláusulas tales que cada una contenga el mismo literal, , en este ejemplo, invierno. El literal debe estar en forma positiva en una cláusula y en forma negativa en la otra. El resolvente se obtiene combinando todos los literales de las dos cláusulas padres excepto <aquellos que cancela.

Si la cláusula producida es la cláusula vacía, es que se ha encontrado una contradicción. Por ejemplo, las dos cláusulas

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

invierno

¬invierno

Producirán la cláusula vacía. Si existe una contradicción, ya se encontrará alguna vez. Naturalmente, si no existe ninguna contradicción, es posible que el procedimiento nunca termine, aunque como veremos, a menudo existen formas de detectar que no existe contradicción.

Hasta ahora sólo hemos discutido la resolución lógica proposicional. En lógica de predicados la situación es más complicada puesto que debemos considerar todas las formas posibles de sustituir valores en las variables. La base teórica del procedimiento de resolución en lógica de predicados es el **Teorema de Herbrand**, que nos dice lo siguiente:

.-Para ver si un conjunto de cláusulas S es insatisfactible, es necesario considerar solamente las interpretaciones en un conjunto concreto llamado *Universi Herbrand* de S .

.-Un conjunto de cláusulas S es insatisfactible si y solo si es insatisfactible un subconjunto finito de S en el que haya obtenido, para todas las variables ligadas un valor que pueda sustituirlas.

La segunda parte del teorema es importante si no existe ningún procedimiento computacional para demostrar la insatisfacibilidad, puesto que ningún procedimiento podrá examinar un conjunto infinito en una cantidad finita de tiempo.

La primera parte sugiere que una forma de acometer la búsqueda de una contradicción es intentar sistemáticamente las sustituciones posibles y ver si alguna produce una contradicción. Pero eso es muy ineficiente. El principio de resolución introducido en primer lugar, proporciona una forma de encontrar contradicciones intentando un número de sustituciones. La idea es mantener las cláusulas en su forma general mientras sea posible e introducir sustituciones específicas sólo cuando sea estrictamente necesarias.

1.4.3.- RESOLUCION EN LOGICA PROPOSICIONAL

En la lógica proposicional, el procedimiento para producir una demostración por resolución de la proposición S respecto a un conjunto de axiomas F es el siguiente:

1. Convertir todas las proposiciones de F a forma clausal.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2. Negar S y convertir el resultado a forma clausal.
 Añadir al conjunto de cláusulas obtenidas en el paso 1.

3. Hasta que se encuentre una contradicción o no pueda realizarse ningún progreso, repetir:

1. Seleccionar dos cláusulas. Llamarlas las cláusulas padres.

2. Resolverlas juntas. La cláusula resultante, llamada resolvente será la disyunción de todos los literales de ambas cláusulas padres con la siguiente excepción:

Si existen pares de literales l y $\neg l$, entonces eliminar tanto l como $\neg l$ del resolvente.

3. Si el resolvente es la cláusula vacía, s que se ha encontrado una contradicción. Si no lo es, añadir al conjunto de cláusulas disponibles por el procedimiento.

Veamos un ejemplo sencillo. Supongamos que se nos dan los axiomas mostrados en la primera columna y queremos demostrar r . Convertimos en primer lugar los axiomas en forma clausal tal como se muestra en la segunda columna de la figura. A continuación

Axiomas dados	Convertidos a forma clausal	
P	P	1
$(P \wedge Q) \Rightarrow R$	$\neg P \vee \neg Q \vee R$	2
$(S \vee T) \Rightarrow Q$	$\neg S \vee \neg T \vee Q$	3
$\neg T$	$\neg T \vee Q$	4
T	T	5

Negamos r , produciendo $\neg r$ que ya está en forma clausal. Ahora empezamos a elegir pares de cláusulas para resolverlas. Aunque puede resolverse cualquier par de cláusulas, solamente aquellos pares que contengan literales complementarios producirán un resolvente que pueda conducir con alguna probabilidad a la meta donde se obtiene la cláusula vacía (que mostraremos como una caja. Podríamos, por ejemplo, generar la secuencia de resolventes mostrada en la figura 5.8. Empezamos resolviendo con la cláusula $\neg r$, puesto que es una de las cláusulas que deben estar involucradas en la contradicción que estamos intentando hallar.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La idea básica de unificación es muy sencilla. Es más fácil de describir si representamos cada literal como una lista, en donde el primer elemento es el nombre del predicado y los elementos restantes son los argumentos, cada uno de los cuales es, o bien un elemento simple (que llamaremos un átomo, siguiendo la terminología LISP) o bien otra lista. Así podríamos tener literales tales como:

```
(intentarasesinar Marco César)
(intentarasesinar Marco (gobernante de Roma))
```

Para intentar unificar dos literales empezamos examinando sus primeros elementos para ver si son iguales. Si lo son, podemos proceder. Si no, no existe forma de unificarlos. Sin importar cuales sean sus argumentos. Por ejemplo, los dos literales

```
(intentarasesinar Marco Cesar)
(odia Marco Cesar)
```

no pueden unificarse. Si el primer elemento concuerda, debemos comprobar a continuación los elementos restantes de dos en dos. Si el primero concuerda, podemos continuar con el segundo, y así sucesivamente. Para comprobar cada uno de los elementos restantes, podemos simplemente llamar recursivamente al procedimiento de unificación. El emparejamiento de regla es simple.

La única complicación en este procedimiento es que debemos encontrar una substitución consistente única para todo el literal, no substituciones separadas para cada parte del mismo. Para hacerlo, debemos tomar cada substitución que encontremos y aplicarla al resto de literales antes de continuar intentando unificarlos.

En general, la substitución (a1/a2,a3/a4.....) (b1/b2,b3/b4.....) significa aplicar todas las substituciones de la lista situada más a la derecha, tomar a continuación el resultado y aplicarle aquellas de la siguiente lista, y así sucesivamente hasta haber aplicado todas las substituciones.

El objeto de procedimiento de unificación es descubrir, como mínimo una substitución que produzca el emparejamiento de dos literales. Normalmente, si existe una de dichas substituciones existen diversas de ellas. Hay que tener en cuenta un punto que la substitución final producida por el proceso de unificación será usada por el procedimiento de resolución, sería conveniente generar el unificador más general posible.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Habiendo ya explicado el funcionamiento del algoritmo de unificación podemos exponerlo ya concisamente. Describiremos un procedimiento UNIFICAR (L1, L2), que devuelve una lista que representa la composición de sustituciones que se han realizado en el proceso de emparejamiento. La lista vacía, NIL, indica que se ha encontrado un emparejamiento sin ninguna sustitución. Una lista que consiste en el único valor F indica que el proceso de unificación ha fracasado

UNIFICAR (L1, L2)

1.- Si (l1 0 l2 es un átomo)
entonces

1.- Si (l1 y l2 son idénticos)
entonces

 devolvemos ni

2.- Si no, sí (l1 es una variable)
entonces

 1.- si (l1 aparece en l2)

 entonces

 devolvemos f

 si no

 devolvemos (l1/l2)

3.- Si no, sí (l2 es una variable)
entonces

 1.- Sí (l2 está en l1)

 entonces

 devolvemos f

 el se

 devolvemos (l1,l2)

 no devolvemos f

 2.- Si (longitud l1) no es igual a longitud (l2)
entonces

 devolvemos f

3.- Actualizar subst a nil (al final de este procedimiento, subst contendrá todas las sustituciones usadas para unificar l1 y l2)

4.- For y= 1 to (número elementos de l1)
 begin

 1.- Llamar unificar con el i-esimo elemento de l1 y el i-esimo elemento de l2 poniendo el resultado en s

 2.- Si (s=f)

 entonces

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

devolvemos f

```
3.- Si ( )s no es igual a nil)
    entonces
    begin
    .- Aplicar s a lo que resta de 11 y lo de 12.
    .- Subst: añadir (s, subst).
    End
    devolvemos subst
```

La única parte de este algoritmo que no hemos discutido es comprobación, en los pasos 1.2 y 1.3, para estar seguros que no unificamos una expresión que contiene una variable dada con esa variable. Supongamos que hubiésemos intentado unificar las expresiones

```
(f x x)
(f g(x) g(x))
```

Si hubiésemos aceptado $g(x)$ como substitución para x , deberíamos entonces sustituirla por x en el resto de las expresiones. Pero esto conduce a una recursión infinita puesto que nunca será posible eliminar x .

1.4.1.- RESOLUCION DE PREDICADOS

Ahora ya podemos exponer el algoritmo de resolución para lógica de predicados, suponiendo un conjunto de sentencias Y una sentencia S que debemos demostrar:

1.- Convertir todas las sentencias de F a forma clausal.

2.- Invertir S y convertir el resultado clausal. Añadirlo al conjunto de cláusulas obtenidas en 1.

3.- Repetir hasta que, o se encuentre una contradicción, o no pueda realizarse ningún progreso, o se haya consumido una cantidad de esfuerzo predeterminado:

3.1.- Seleccionar dos cláusulas. Llamar cláusulas padres.

3.2.- Resolverlas. El resolvente será la disyunción de todos los siderales de ambas cláusulas padres, habiendo realizado las substituciones apropiadas con la siguiente expresión: Si existe un par de literales $T1$ y $\sim T2$ tales que una de las cláusulas padres contengan $T1$ y la otra contenga $T2$, y si $T1$ y $T2$ son unificables, entonces ni $T1$ ni $T2$ deben aparecer en el resolvente.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Llamaremos a T1 y T2 literales complementarios. Usar la substitución producida por la unificación para crear el resolvente.

3.3.- Si el resolvente es la cláusula vacía, se ha encontrado una contradicción. Si no lo es, añadirla al conjunto de cláusulas disponibles para el procedimiento.

Si la elección de cláusulas para resolver pares de sentencias en cada paso se hace de ciertas formas sistemáticas, el procedimiento de resolución encontrará una contradicción, si ésta existe. Sin embargo, puede tomar mucho tiempo. Existen estrategias para realizar las elecciones que pueden acelerar el proceso considerablemente:

.- Resolver solamente pares de cláusulas que contengan literales complementarios, puesto que sólo tales resoluciones producen nuevas cláusulas que son más difíciles de satisfacer que sus padres

.- Eliminar ciertas cláusulas tan pronto como se generan, de forma que no puedan participar en resoluciones posteriores. Deberían eliminarse dos clases de cláusulas: tauntologías y cláusulas subsumidas por otras cláusulas.

.- Siempre que sea posible, resolver bien con una de las cláusulas que es parte de la sentencia que estamos intentando refutar con una cláusula generada mediante una resolución con dicha cláusula.

.- Siempre que sea posible, resolver con cláusulas que contengan un único literal.

Veamos el siguiente ejemplo:

CONJUNTO DE SENTENCIAS

1. Marco era un hombre.
2. Marco era pompeyano.
3. Todos los pompeyanos eran romanos.
4. Cesar era un gobernante.
5. Los romanos, o bien eran leales a Cesar o bien lo odiaban.
6. Todo el mundo es leal a alguien.
7. La gente sólo intenta asesinar a aquellos gobernadores de los que no son leales.
8. Marco intentó asesinar a Cesar.

CONJUNTO DE AXIOMAS EN FORMA CLAUSAL

- 1.- Hombre (Marco)
- 2.- Pompeyano (Marco)

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

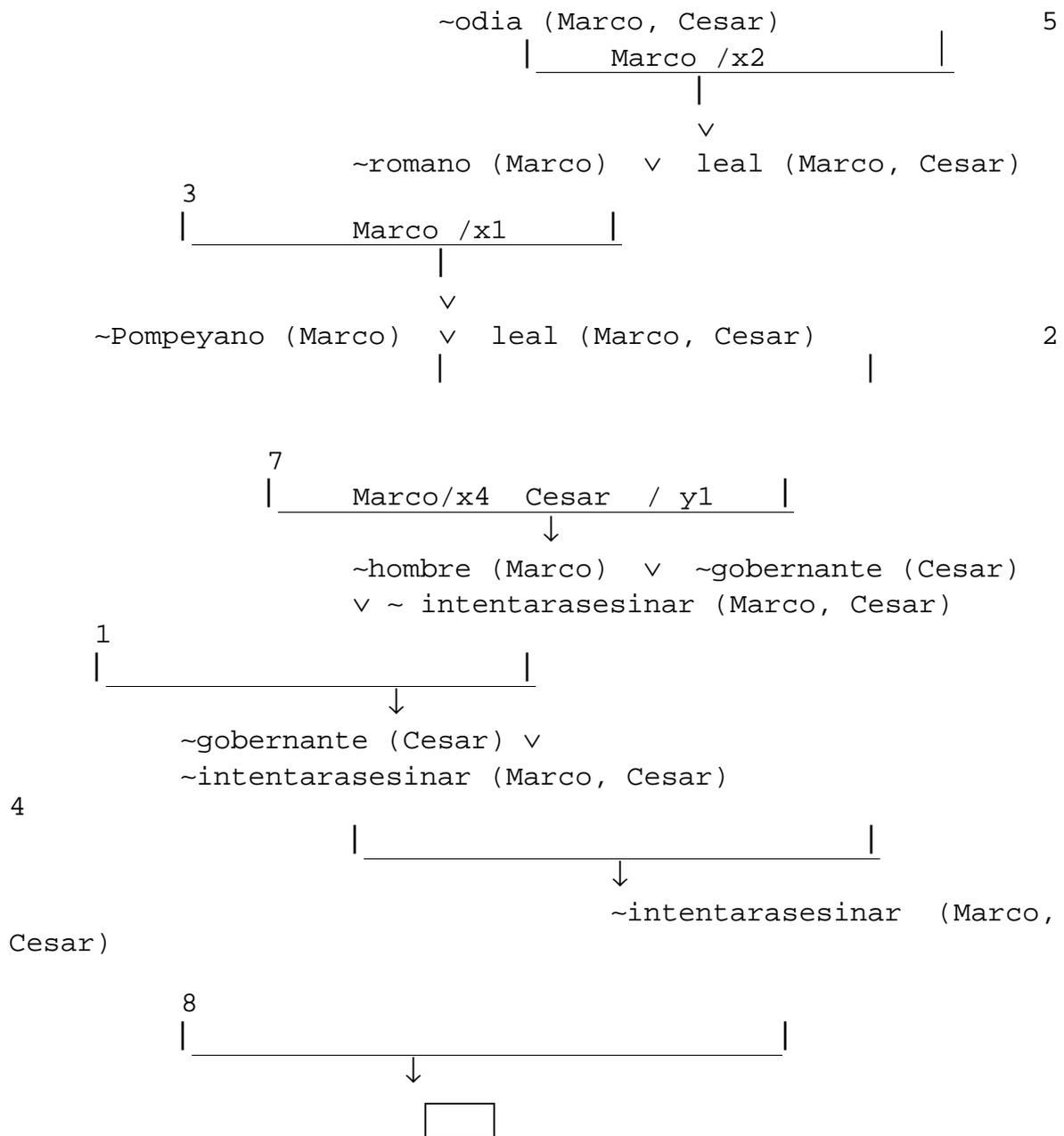
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- 3.- \sim Pompeyano (x1) \vee Romano (x)
- 4.- Gobernante (Cesar)
- 5.- \sim romano (x2) \vee leal (x2, Cesar) \vee odia (x2, Cesar)
- 6.- leal (x3, f1 (x3))
- 7.- \sim hombre (x4) \vee \sim gobernante (y1) \vee \sim intentarasesinar (x4, y1) \vee \sim leal (x4, y1)
- 8.- intentarasesinar (Marco, César)

Queemos demostrar si:

Odia (Marco, Cesar)

Para ello procederemos como sigue:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Hay que tener cuidado con la sentencia que vayamos a demostrar, puesto que a veces, según como la pongamos (negada o no) puede ser que el proceso de resolución tenga solución o no, dependiendo de que haya asertos conocidos, para que se produzca una contradicción.

La resolución proporciona una forma muy buena de encontrar una demostración de refutación sin intentar realmente todas las substituciones que sugiere el teorema de Herbrand como necesarias. Pero no siempre elimina la necesidad de intentar más de una substitución. A veces no existe forma de intentar evitar diversas substituciones, a no ser que tengamos muy buena suerte.

1.4.6.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA RESOLUCION

Las VENTAJAS que posee la Resolución para la demostración de teorema son las siguientes:

- .- Simplicidad del método
- .- Depuración del método.
- .- El PROLOG soporta este método.

.- Los INCONVENIENTES que posee la Resolución para la demostración de teoremas son las siguientes:

- .- El método es muy lento, ya que es de orden Exponencial.
- .- Es poco expresivo.
- .- Es incompatible con: Metaconocimiento
Mundo cambiante.

2.- LAS LOGICAS NO CLASICAS.

2.1.- INTRODUCCION

Referente a la lógica se han levantado varias críticas, de las que las más importantes son:

1.- La lógica es demasiado expresiva, es decir, existe una gran limitación sobre lo que puede ser representado

2.- La lógica no puede manejar conocimiento incompleto, impreciso, incierto y raro y/o inconsistente.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.- Los algoritmos para implementar el conocimiento, que derivan de la lógica, son ineficientes.

Esto se debe a la mala interpretación de que la lógica comprende solamente a la lógica clásica (proposiciones y predicados de primer orden). No es este el caso. Existen muchas otras lógicas.

Una lógica consiste en la notación bien definida para la representación del conocimiento, junto con métodos bien definidos para interpretar y manipular el conocimiento que esté representado. El término importante es "bien definido".

2.2.- LOGICAS MULTI-ORDENADAS o (con clase múltiple de objetos)

En la lógica multi-ordenada, el universo de discurso es considerado como comprensión de una estructura relacional, en la cual las entidades en el dominio "E" se consideran que pueden ser de varias clases. Las clases son relacionadas con cada una de las otras de varias formas para formar una estructura ordenada. Hay diferentes formas de estructuras ordenadas:

1.- Estructuras en las que las clases son todas disjuntas.

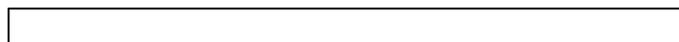
Por ejemplo, "E" podría contener entidades de las clases: mujer, hombre, bicicleta, coche.

2.- Estructuras en las que las clases son relacionadas en una estructura de árbol de subconjuntos.

3.- Estructuras en las que las clases son relaciones en una rejilla. Esta es la estructura ordenada más general. Un ejemplo de rejilla:

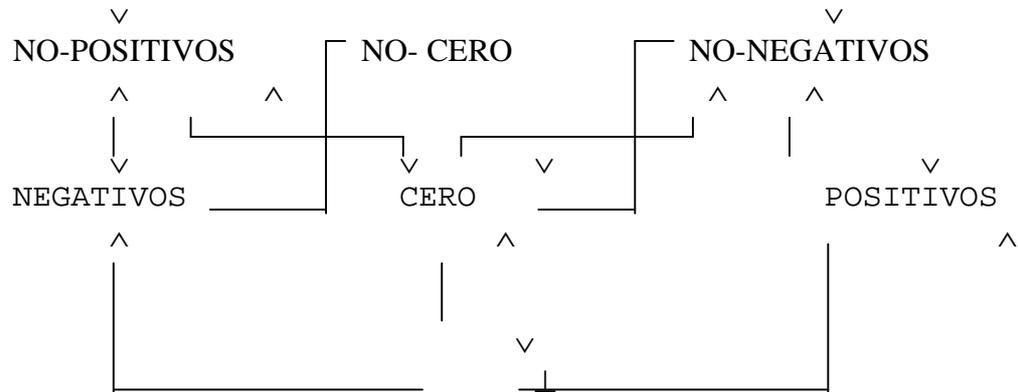
T

^



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Hay y que hacer notar que la lógica multi-ordenada no son más expresivas que las lógicas no ordenadas.

Vamos a ver dos lógicas multiordenadas y ejemplos de cómo pueden ser usadas para mejorar la eficiencia del razonamiento automatizado.

2.2.1.-LOGICAS MULTI-ORDENADAS CON CUANTIFICACION RESTRINGIDA

Discutiremos esta lógica multi-ordenada con referencia a la estructura de clases disjuntivas, ya que es la estructura ordenada más apropiada para la lógica

En lugar de usar la cuantificación universal, un método alternativo de representar el conocimiento de arriba es usar una fórmula que contiene cuantificadores restringidos. Veamos el siguiente ejemplo:

.- Con cuantificación universal

$$\forall x [\text{coche } (x) \Rightarrow \text{número-ruedas } (x,4) \vee \text{número-ruedas } (x,3)]$$

.- En forma cláusula

$$\{ \neg \text{coche } (x), \text{ número_ruedas } (x, 3) \}$$

.- Con cuantificadores restringidos.

$$\forall x (\text{coche } (x) [\text{número_ruedas } (x, 4) \vee \text{número_ruedas } (x, 3)])$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El cuantificador restringido $\forall x$ (coche) toma un subconjunto de el dominio de la estructura relacional, es decir, cubre solamente aquellas entidades que son de clase coche. El símbolo que expresa la restricción del cuantificador, (en este caso "coche"), se denomina "símbolo de clase", y el subconjunto del dominio que denota es denominado una clase.

2.2.2.- LOGICAS MULTI-ORDENADAS MAS EXPRISIVAS

Vamos a describir una lógica ordenada en la que pueden ser definidas el comportamiento ordenado de funciones y predicados en la que no se usa el cuanti restringido. Esta lógica es descrita con respecto a las estructuras de rejillas ordenadas, ya que para este tipo de estructuras ordenadas la lógica fue desarrollada. Empezaremos describiendo las rejillas.

1.- Rejillas

Consideramos la rejilla ordenada dada anteriormente. El símbolo T al principio de la rejilla es interpretado como la clase que contiene todas las entidades en el dominio de la estructura relacional. Esta clase es llamada "Top". El símbolo "⊥" al final de la rejilla es interpretado como la clase vacía. Esta clase se denomina "Botton"

Las clases intermedias por arriba de botton, en nuestro ejemplo de rejilla, son clases disjuntas. Botton es una clase específica. Conforme nos movemos de botton a top, las clases empiezan a ser más generales, siendo top en la rejilla la más general. Una clase que esté más alta que otra en la rejilla, y que esté conectada por una curva descendente con ella, es denominada una superclase de la clase más específica (que es denominada subclase de la más general). La relación

Subclase | superclase

Es denotada por:

$$S1 \subseteq S2$$

Que indica que S1 es una subclase o es igual a S2.

2.- Funciones Ordenadas

Asociado con cada símbolo e función f en el lenguaje de la lógica ordenada, existen una función ordenada "f", cuyo propósito es definir la clase de funciones f's de salida dando la clase f's de entrada. Por ejemplo, supongamos que tenemos una función de multiplicar que toma los siguientes argumentos:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

CLASE DE ARGUMENTOS

CLASE DE RESULTADOS

Cero, Cero

Cero

No Positivo, Cero

Cero

Negativo, positivo

Negativo

La función clasificadora "multiplicar" es definida:

Multiplicar (cero, cero) = cero

Multiplicar (no_positivo, cero) = cero

Multiplicar (negativo, positivo) =

negativo

2.3.- LOGICAS SITUACIONALES

Las lógicas descritas anteriormente se ocupan de estructuras estáticas. Como siempre, en muchas aplicaciones existe la necesidad de almacenar y maniobrar conocimiento que representa un universo de discurso cambiante. La lógica situacional fue desarrollada para este tipo de aplicaciones.

En la lógica situacional, todos los predicados llevan un argumento extra, que denota la situación en la que la fórmula es cierta. Por ejemplo, consideramos la fórmula siguiente:

Sobre (b1, b2, S1)

Esta fórmula expresa que b1 está sobre b2 en la situación S1.

Supongamos que b1 y b2 son bloque. En una situación siguiente, el bloque b2 podría ser movido a otro sitio, resultando la siguiente fórmula:

\neg Sobre (b1, b2, S2)

La transformación de S1 a S2 fue causada por evento: El evento de mover b2 a otro sitio.

Las situaciones y eventos son relacionados por una relación R, donde R (e,s) denota la situación que se obtiene cuando ocurre el evento e en la situación s. Por ejemplo, consideramos, la siguiente afirmación concerniente al movimiento de los bloques:

$\forall x$ (sobre (b1, b2, s) \wedge \neg sobre (x, b3, s)
 \Rightarrow sobre (b1, b3, R (mover (b2, b3), s)))

Esto expresa que si b1 está sobre b2, y ningún bloque está sobre b3, la nueva situación denotada por R (mover (b2, b3)),

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

S) que resulta de mover un bloque desde lo alto de b_1 a lo alto de b_3 tendrá b_1 sobre b_3 .

No obstante, no se puede inferir nada acerca de la posición relativa de todos los otros bloques en s' . Una solución a este problema es escribir debajo afirmaciones que expresen que un bloque permanece donde está a menos que sea movido.

Hayes llama a tales proposiciones "Leyes de Frame" y se refiere al problema de determinar adecuadamente las colocaciones de tales leyes como "El problema del Frame".

Otros problemas se presentan como consecuencia del universo de discurso cambiante. Las creencias deben cambiar para acomodarse a un mundo cambiante. Consideremos el siguiente ejemplo presentado por Hayes (1981).

Un robot concluye de su teoría, la cual incluye unas creencias como afirmaciones, que puede conducir hasta el aeropuerto. No obstante, cuando llega el coche encuentra que tiene una rueda pinchada. Un humano podría simplemente añadir una nueva proposición, "mi rueda está pinchada", a su base de conocimiento y concluir que no puede ahora conducir al aeropuerto. El añadir una nueva creencia hace falsa mi conclusión anterior, aún cuando fue una conclusión válida del conjunto de creencias anteriores. Si el robot está usando una lógica clásica, el único camino por el que puede hacer una mejora a sus creencias es si en sus conclusiones anteriores estaba "si la rueda no estaba pinchada, puedo conducir al aeropuerto". No obstante, hay un gran número de contratiempos potenciales que podrían prevenir al robot de conducir al aeropuerto podría no ser razonables habilitar la conclusión de todas las posibilidades.

Hayes denominó a esto el "problema de la cuantificación" y expresa que la lógica de creencia no puede esperarse que obedezcan a la propiedad de monotonía de las lógicas clásicas.

Para superar el problema de la cuantificación asociada con las lógicas monótonas, Hayes introdujo un nuevo conector urania, denominado "demostrador" que significa puede ser demostrado del actual conjunto de creencias". Usando este concreto, es posible escribir afirmaciones tales como:

$$\neg \text{demostrado } \text{Kaput}(\text{coche}, s) \Rightarrow \text{at}(\text{Robot}, \text{aeropuerto}, R(\text{conducir}(\text{aeropuerto}), S))$$

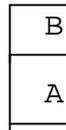
que significa "si no puedo probar que el coche esté Kaput en la situación s , el robot puede conducir al aeropuerto dando la

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

situación R (conducir (aeropuerto), s), y en esta nueva situación el robot está en el aeropuerto".

Veamos un ejemplo de lógica situacional:



Situación S1

Situación S2

Ponermesa S * B \Rightarrow S

Ponermesa (A, S) = S'

$\forall s \forall x \neg \text{sobre}(x, \text{mesa}, s) \Rightarrow \text{sobre}(x, \text{mesa}, \text{ponermesa}(x, s))$

S

Para ver si se puede pasar a la situación S2 desde S1, se debe verificar:

$\exists S_f \text{ Sobre}(\text{mesa}, B, S_f)$

Los predicados que vamos a utilizar son

Estado Inicial

- 1.- Sobre (B, A, S1)
- 2.- Sobre (A, Mesa, S1)

Reglas a utilizar

3.- Sobre (x, Mesa, S3) \vee Sobre (x, Mesa, pasar (x, S3))

3.- $\{ \forall s \forall z \forall y (\text{sobre}(y, z, s) \vee \neg (\text{Igual}(z, \text{Mesa})) \Rightarrow$

$\neg \text{sobre}(y, \text{mesa}, s)$

4.- $\neg \text{Sobre}(y, z, S4) \vee \text{Igual}(z, \text{Mesa}) \vee \neg \text{Sobre}(y, \text{mesa}, S4)$

5.- $\neg \text{Igual}(A, B)$

6.- $\neg \text{Igual}(B, \text{Mesa})$

7.- $\neg \text{Igual}(A, \text{Mesa})$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

8- \neg Sobre (B, Mesa, Si)

Tenemos todos estos axiomas y queremos demostrar

\exists Sf Sobre (B, Mesa, Sf)

Demostración:

9.- $X \Rightarrow B \quad Sf = \text{Poner } (x, S3) \quad 3 \text{ R } 8 \Rightarrow \text{Sobre}$
 $(B, \text{Mesa}, S5)$

10.- $Y \Rightarrow B \quad S4 \Rightarrow S5 \quad 9 \text{ R } 4 \quad \Rightarrow \neg \text{Sobre } (B, Z,$
 $S0) \vee \text{Igual } (Z, \text{Mesa})$

11.- $Z \Rightarrow A \quad 10 \text{ R } 7 \quad \Rightarrow \neg \text{Sobre}$
 $(B, A, S7)$

12.- $S7 \Rightarrow Si \quad 11 \text{ R } 1 \quad \Rightarrow \text{NIL}$

Según esto se puede pasar del estado inicial al final.

2.4.- LOGICAS NO MONOTONAS

Una de las características de una lógica monótona es que si un axioma correcto es añadido a una teoría τ , para obtener una teoría τ' entonces todos los teoremas de τ también son teoremas de τ' . Esto es:

IF $\tau \quad | \text{---} P, \quad \text{y} \quad \tau \subseteq \tau' \quad \text{entonces} \quad \tau' \quad | \text{---} P$

En lógica monótona, la adición de una afirmación a una teoría puede invalidar conclusiones que podían ser hechas previamente.

Existen tres tipos de circunstancias, en las que el razonamiento no monótono podría ser apropiado:

- 1.- Cuando el conocimiento es incompleto, los axiomas por defecto pueden hacerse, y podrían ser olvidados cuando hay más conocimiento disponible.
- 2.- Cuando el mundo es cambiante .

Consideremos un ejemplo similar al de arriba:

- a) Inicialmente tu conoces que Ozzie es un pájaro y que puede volar.
- b) Posteriormente te dicen que alguien dejó la ventana abierta y que Ozzie escapó.
- c) Finalmente, tu sabes que Ozzie tiene las alas cortadas después de que conoces a) y antes de conocer c).

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Este ejemplo es similar al de arriba pero difiere levemente en que no conoces el razonamiento por defecto en presencia de conocimiento incompleto pero sí el razonamiento con conocimiento adecuado.

3.- En resolución de problemas donde se hacen aserciones temporales.

En muchas tareas de resolución de un problema los humanos hacen suposiciones temporales que les permiten encontrar una posible solución. Tales suposiciones pueden ser posteriormente validadas o invalidadas.

McDermott y Doyle (1980) describen una lógica no monótona que se deriva de una lógica clásica añadiendo un operador modal M representando "inconsistente". Informalmente, M_p significa que P es consistente con todo lo que es creído.

Por ejemplo consideremos la siguiente teoría:

- a) $\forall x ((x \in \text{pájaro}) \wedge M(x \text{ tiene habilidad } \text{volar}) \Rightarrow (x \text{ tiene habilidad } \text{volar}))$
- b) $(\text{Ozzie} \in \text{pájaros})$

La primera fórmula puede ser leída como "para todo x si x es un pájaro, y si (x puede volar) es consistente con todo lo que creemos, podemos concluir que x puede volar".

De a) y b) podemos deducir que Ozzie puede volar.

No obstante, si nosotros añadimos la creencia de que Ozzie no puede volar, entonces (Ozzie puede volar) no es consistente que nuestro conjunto de creencias, y debemos retirar nuestra creencia deducida de que Ozzie puede volar.

2.5.- LOGICAS MULTIVALUADAS

Las lógicas que hemos visto eran dos-valuadas. Los valores son cierto o falso. No obstante, existen muchas literatura que han tratado lógicas que tiene más de dos valores: por ejemplo Belnap investigó una lógica 4-valuada en la que los cuatro valores son los cuatro estados de conocimiento que una base de conocimientos puede estar en respecto a la proposición p :

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- U = La Base de Conocimiento no conoce p ni $\neg p$
- T = La B.C. conoce p
- F = La B.C. conoce $\neg p$
- B = La B.C. conoce p y $\neg p$

Este sistema de cuatro valores es de relevancia para el diseño de sistemas de preguntas-respuestas automáticas.

2.5.1.- Lógica de Lukassiewicz

Una de las mejores lógicas multivaluadas conocida es la lógica 3-valuada propuesta por Lukasiewicz.

Para las afirmaciones contingentes futuras, Lukadsiewicz introduce tres valores:

- .- Verdadero (V)
- .- Falso (F).
- .- No tiene valor (N).

Una tabla de verdad correspondiente a esta interpretación sería :

A	B	$A \Rightarrow B$
T	T	T
T	N	N
T	F	F
N	T	T
N	N	T
N	F	N
F	T	T
F	N	T
F	F	T

Para las propiedades sin frontera, utilizamos la lógica de Lukasiewicz.

Se le da un grado de verdad a la proposición entre 0 y 1.

Es decir:

Esta enfermedad es grave-----0.4

Esta enfermedad es buena-----0.3

V: a-----→ [0, 1]

r = V (P) ←----- Grado de verdad

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las tablas serían las siguientes:

$$\neg r = 1 - r$$

$$r1 \vee r2 = \max \{ r1, r2 \}$$

$$r1 \wedge r2 = \min \{ r1, r2 \}$$

$$r1 \Rightarrow r2 = \min \{ 1, 1-r1 + r2 \}$$

2.5.2.- Lógica de Kleene

Introduce para los predicados tres valores:

- .- Verdad (V).
- .- Falso (F).
- .- Indecible (I).

Una tabla de verdad correspondiente a esta interpretación sería:

A	B	A \Rightarrow B
T	T	T
T	I	I
T	F	F
I	T	T
I	I	I
I	F	I
F	T	T
F	I	T
F	F	T

2.5.3.- Lógica de Bochvar

Introduce para los predicados tres valores:

- .- Verdad (V).
- .- Falso (F).
- .- Paradójico (P).

Una tabla de verdad correspondiente a esta interpretación sería:

A	B	A \Rightarrow B
T	T	T
T	P	P
T	F	F
P	T	P

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

P	P	P
P	F	P
F	T	F
F	P	P
F	F	T

2.6.- LOGICAS FUZZY

Existen una gran cantidad de conocimiento de sentido común que no puede ser acomodado por la lógica convencional. Esto es porque el conocimiento de sentido común típicamente contiene una gran cantidad de incertidumbre. Por ejemplo, consideremos la siguiente pieza de sentido común:

"Si un coche es ofrecido para venderlo y está viejo y barato, entonces es probable que no está en buen estado".

Hay mucha incertidumbre en esta sentencia. La lógica convencional no admite grados de verdad y por consiguiente no puede ser usada para representar y razonar con sentencias de este tipo.

La lógica Fuzzy puede acomodar tal incertidumbre y lo hace por aproximación a la semántica que es completamente distinto de cómo es usada en lógica convencional.

.- Test-Score semántico es usado para asignar un significado a una proposición en la lógica de Fuzzy. En test-score semántico una proposición es considerado como una colección de "contenciones elásticas". Por ejemplo, la proposición "María es morena" representa una contención elástica sobre el color del pelo de María.

2.6.1.- LOGICA FUZZY PARA CONJUNTOS

Definimos la noción de **Conjunto Fuzzy** con la función característica "n" la cual asigna valores desde un universo U a números reales entre 0 y 1.

$$n : U \rightarrow [0, 1]$$

Según esto definimos un **Subconjunto Fuzzy** de la siguiente forma:

Sea U un conjunto, numerable o no, y sea X un elemento del conjunto. Un subconjunto Fuzzy A de U es un conjunto de pares ordenados $\{ (x, u_A(x)) \mid \forall x \in U$ donde $u_A(x)$ es una función característica de pertenencia

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

con valores en $\{ 0, 1 \}$, y la cual indica el grado o nivel de pertenencia de x en A . Un valor de $u_A(x) = 1$, significa que x está completamente contenido en A . Los valores $0 < u_A(x) < 1$ significa que x es miembro parcial de A .

No se debe confundir las funciones características para los conjuntos Fuzzy con las probabilidades.

La función característica fuzzy se refiere a la vaguedad y a la medida de la posibilidad o facilidad de consecución de un evento.

Veamos algunas operaciones sobre conjuntos Fuzzy:

- *.- $A = B \iff u_A(x) = u_B(x) \quad \forall x \in U$
 - *.- $A \subseteq B \iff u_A(x) \geq u_B(x) \quad \forall x \in U$
 - *.- $u_{A \cap B}(x) = \min_x \{ u_A(x), u_B(x) \}$
 - *.- $u_{A \cup B}(x) = \max_x \{ u_A(x), u_B(x) \}$
- y todas aquellas que se deriven de las anteriores.

También hay operaciones propias de los conjuntos Fuzzy, tales como:

- Dilatación : $DIL(A) = [u_A(x)]^{1/2} \quad \forall x \in U$
- Concentración : $CON(A) = [u_A(x)]^2 \quad \forall x \in U$
- Normalización: $NORM(A) = \{ u_A(x) / \max_x \{ u_A(x) \} \}$
 $\forall x \in U$

La forma de razonar con lógicas fuzzy de conjuntos, es muy compleja, y se intenta razonar mediante el modus ponens generalizado y mediante otros métodos. Al final se utiliza la regla de composición de inferencia original de Zadeh.

2.7.- LOGICAS MODALES

Snyder ha descrito una lógica modal como una lógica que nos permite razonar con sentencias en modo subjuntivo antes que en modo indicativo. las sentencias subjuntivas afirman que debe ser, puede ser, se cree que es, esperando para ser, será en el futuro y algunas más. Tales sentencias son distintas de las sentencias indicativas que simplemente afirman que es. las sentencias modales pueden ser detectadas por la presencia de operadores modales. Una característica formal de los operadores modales es que ellos forman

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

sentencias cuyo valor de verdad no está en función de las sentencias que la componen.

- a) Juan tiene apendicitis.
- b) Es el caso que Juan tiene apendicitis.
- c) Es posible que Juan tenga apendicitis.

Las sentencias a) y b) no son modales. La sentencia b) es cierta si y solo si a) es cierta. La sentencia c) es modal. Es cierta si a) es cierta pero podría ser interpretada como cierta o falsa si a) es falsa.

Trabajos posteriormente en lógicas modales estaban interesados con afirmaciones (sentencias) que contenían los operadores "es posible que" y "es necesario que" y sus negaciones.

Los operadores modales monarios afectan solo a sentencias simples. Los binarios forman nuevas sentencias a partir de dos sentencias. Dos operadores han sido definidos: "implicación estricta" y "suposición". En la lógica clásica, la fórmula de implicación material $P \Rightarrow Q$ es equivalente por definición a la negación de la conjunción $P \wedge \neg Q$. Es decir, P materialmente implica Q si y solo si no es el caso de que P es cierto y Q es falso. Por el otro lado, la fórmula de implicación estricta "P implica estrictamente Q" es equivalente a la imposibilidad de la conjunción $P \wedge \neg Q$

Vamos a desarrollar algún tipo de modalidades:

1.- Modalidad Atlética

La modalidad que se interesa con la necesidad y posibilidad es denominada modalidad atlética, que deriva de la palabra griega para verdad. Los sistemas adecuados de esta modalidad atlética podría esperarse que tengan los siguientes teoremas:

- AS1: "Si necesario P entonces posible P".
- AS2: "Si necesario P entonces P".
- AS3: "Si P entonces posible P"
- AS4: "Si no posible P entonces no necesario P".
- AS5: "Si no P entonces no necesario P".
- AS6: "Si no posible P entonces no P".
- AS7: "Posible no P sii no necesario P".
- AS8: "Necesario no P sii no posible P".
- AS9: "Posible P o posible no P".
- AS10: "No necesario P y necesario no P".

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Hay varios tipos de modalidad atlética dependiendo de las interpretaciones de necesario y posible.

2.- Modalidad temporal.

La lógica temporal más simple nuevamente interpreta los operadores necesarios y posible como "siempre" y "a veces". Las fórmulas que no están en el alcance de tales operadores se asume que representan el estado presente de los objetos. Los axiomas lógicos en estas lógicas son los mismos que en la modalidad atlética. Otras lógicas temporales más complejas incluyen más operadores e incluso variable de tiempo.

3.. Modalidad Deontológica.

La modalidad deontológica contiene los operadores modales "es obligatorio" y "es permisible". La lógica deontológica difiere de la lógica clásica en que los diez axiomas dados anteriormente no son todos apropiados. Los siguientes axiomas lógicos deberían ser teoremas de una lógica deontológica:

- "Si obligatorio P entonces permisible P".
- "Si no permisible P entonces no obligatorio P".
- "Permisible no P sii no obligatorio P".
- "Obligatorio no P sii no permisible P".
- "Permisible P o permisible no P".
- "No obligatorio P y obligatorio no P".

4.- Modalidad Epistemológica.

La lógica epistemológica se interesa por el convencimiento, creencia y conceptos. Las lógicas epistemológicas simples incluyen los operadores modales "se sabe que" y "se cree que" y contiene las siguientes axiomas lógicos:

- "Si conocido P entonces creído P"
- "Si no creído P entonces no conocido P"
- "No conocido P y conocido no P".

Las lógicas epistemológicas más complejas incluyen agentes o operadores modales indexados.

El mundo en que vivimos es el mundo "actual". No obstante, no es el único mundo en el que el hombre está interesado.

Frecuentemente, cuando entremos en discusiones de política, economía, ciencias y muchos más introducimos

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

mundos "posibles" no actuales con sentencia como "si tal y tal fueran el caso entonces se seguiría que....."

El conjunto de mundos posibles es usado en varias circunstancias para varios razonamientos.

El término "mundo posible" puede ser usado de varias formas para distinguir mundos "posibles" de mundos "imposibles". Por ejemplo:

1.- Un mundo "lógicamente posible"

Podría ser definido como un mundo que se ajuste a las reglas de la lógica. Un mundo en el que Londres es o no es la capital de Inglaterra es lógicamente posible, mientras que un mundo en el que Londres es y no es la capital de Inglaterra es lógicamente imposible.

2.- Un mundo "físicamente posible"

Podría ser definido como un mundo que tiene las mismas propiedades físicas que el mundo actual. Un mundo físicamente imposible en el mundo en el que las partículas pueden viajar más rápidas que la velocidad de la luz.

3.- Un mundo moralmente posible

Podría ser definido como uno en el que todas las leyes de un código son obedecidas.

4.- Un mundo "concebiblemente posible"

Podría ser definido como un mundo que puede ser concebido. Nosotros podemos concebir un mundo en el que no haya noción de color.

5.- Un mundo "temporalmente posible"

Podría ser definido como un mundo que está en el mismo tiempo o está en el futuro del mundo bajo consideración.

Podemos hacer notar la necesidad para los mundos de ser definidos como posibles con respecto a otros mundos antes que absolutamente. Por ejemplo, un mundo de 1994 podría ser temporalmente posible con respecto a uno de 1990 pero no con respecto a uno de 1998.

RELACION DE ACCESIBILIDAD

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Un camino conciso de describir las posibilidades relativas entre los mundos de algún conjunto de mundos W es definir una relación binaria R , denominada "relación de accesibilidad" sobre W tal que para cualquier $w_i, w_j \in W$:

$\langle w_i, w_j \rangle \in R$ sii w_j es posible con respecto a w_i .

La terminología de la teoría relacional puede ser usada ahora para caracterizar R . Por ejemplo:

.- Una relación R es reflexiva sobre el conjunto W sii $\forall w \in W, \langle w, w \rangle \in R$. O sea, es reflexiva si todos los mundos de W son posibles con respecto a sí mismos. En la mayoría de los casos R es reflexiva, aunque hay casos en que no lo es.

.- Una relación R es transitiva en el conjunto W sii satisface la siguiente condición $\forall w_i, w_j, w_k \in W$:

Si $\langle w_i, w_j \rangle \in R$ y $\langle w_j, w_k \rangle \in R$ entonces $\langle w_i, w_k \rangle \in R$

La relación de accesibilidad para la posibilidad temporal es transitiva.

.- Una relación R es simétrica en el conjunto W sii satisface la siguiente condición $\forall w_i, w_j \in W$:

Si $\langle w_i, w_j \rangle \in R$ entonces $\langle w_j, w_i \rangle \in R$

La relación de accesibilidad para la posibilidad física es simétrica mientras que para la posibilidad temporal no lo es.

.- Una relación R es conexa en el conjunto W sii satisface:

$\forall w_i, w_j \in W$: Si $w_i \neq w_j$ entonces $\langle w_i, w_j \rangle \in R$ o $\langle w_j, w_i \rangle \in R$

.- Una relación R es una relación de equivalencia en el conjunto W sii es reflexiva, simétrica y transitiva en W . Por ejemplo la relación de accesibilidad para la posibilidad lógica es una relación de equivalencia.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

NOCION DE VERDAD NECESARIA Y POSIBLE

Los términos verdad necesaria y posible pueden ser descritos informalmente como:

.- Una proposición P es necesariamente cierta en un mundo W sii P es cierta en todos los mundos accesibles desde W . La verdad necesaria se denota por \Box

..- Una proposición P es posiblemente cierta ($\Diamond P$) en un mundo W sii P es cierta en al menos uno de los mundos accesibles desde W .

La relación entre ambos es : $\Diamond P = \neg \Box \neg P$, es decir, una proposición es posiblemente cierta sii no necesariamente no cierta.

Como ejemplo, sea las siguientes proposiciones que consideramos ciertas en el mundo actual. Los mundos posibles son tomados como mundos temporalmente posibles, por lo que la relación de accesibilidad R es reflexiva y transitiva pero no simétrica:

PA1: Juan está vivo

Se lee: Juan está vivo en el mundo actual

PA2: \Diamond Juan está muerto

Se lee: En el mundo actual o en algún mundo en el futuro del mundo actual, Juan está muerto.

PA3: \Box (Juan está muerto \Rightarrow \Box Juan está muerto)

Se lee: En el mundo actual Y EN TODOS LOS MUNDOS EN EL FUTURO DEL MUNDO ACTUAL, SI Juan está muerto en ese mundo, entonces él está muerto en todos los mundos en el futuro de ese mundo, es decir, una vez que Juan muera, permanecerá siempre muerto.

2.7.1.- REGLAS DE INFERENCIA ESPECIALES Y AXIOMAS LOGICOS PARA LOGICAS MODALES PARTICULARES .

Las proposiciones de lógica modal incluyen:

- a) Todos los mecanismos de la lógica proposicional extendida clásica, incluyendo los símbolos \Diamond y \Box .
- b) La definición sobre DF1.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- c) Algunas reglas adicionales de inferencia y axiomas lógicos.

En esta sección describiremos una regla de inferencia y un axioma lógico que se encuentran en muchos sistemas modales básicos. Más tarde, veremos algunos axiomas lógicos adicionales que pueden añadirse a sistemas básicos de lógica modal para producir extensiones de cara a aplicaciones particulares.

La regla descrita se llama "Regla de Gödel, o regla de la "necesidad" (Gödel, 1933). Esta regla es apropiada para la mayoría de los sistemas modales (SM) ya que incluye la noción de que si algo es lógicamente verdad, entonces es sólo con mundos posibles los cuales son también lógicamente posibles., La regla de Gödel puede encontrarse en la mayoría de los SM. La regla puede definirse como sigue:

Desde $\vdash P$ infiere $\Box P$

Esta regla significa que si P es un teorema del SM que está siendo usado (es decir, un axioma lógico del SM), entonces $\Box P$ es también un teorema. No significa que si P es un axioma propio de alguna teoría modal T , entonces $\Box P$ sea también un teorema de T .

Mucho SM incluye el siguiente axioma lógico:

LAM : $\Box (P \supset Q) \supset (\Box P \supset \Box Q)$

Es decir, si es necesario que siempre P sea verdad Q es también verdad, lo que significa que si P es necesario entonces Q es necesario. El axioma LAM se obtiene del entendimiento intuitivo que tenemos del concepto de necesidad.

Otros axiomas lógicos utilizados son:

- 1.- Si R es reflexiva:

LA1: $\Box P \supset P$

es decir, si $\Box P$ es verdad en algún mundo w , entonces P es verdad en w ya que w es accesible desde sí mismo.

- 2.- Si R es transitiva

LA2: $\Box \Box P \supset \Box P$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

es decir, si P es verdad en todos los mundos w_j que son accesibles desde algún mundo w_i , entonces P es verdad en todos los mundos w_k que son accesibles desde w_j .

3.- Si R es simétrica:

$$LA3: P \rightarrow \Diamond P$$

significa que si P es verdad en algún mundo w , entonces $\Diamond P$ es verdad en todos los mundos que son accesibles desde w .

4.- Si R es una relación de equivalencia:

$$LA1: P \rightarrow P$$

$$LA4: \Diamond P \rightarrow \Diamond P$$

El siguiente ejemplo está relacionado con la temporalidad de los mundos accesibles. Supongamos una relación R reflexiva y transitiva.

En este caso apropiado utilizar los axiomas LA1 y LA2. Para ilustrarlo consideremos la teoría modal T que contiene los siguientes axiomas:

PA1: Juan está vivo

PA2: \Diamond Juan está muerto

PA3: (Juan está muerto \rightarrow Juan está muerto)

PA4: (Juan está vivo $\rightarrow \neg$ Juan está muerto)

donde PA4 puede leerse como 'en todos los mundos accesibles desde el actual, si Juan está vivo entonces Juan no está muerto'. Añadiendo los axiomas LA1 y LA2 a la lógica para demostrar que \neg (Juan está muerto) procederíamos de la siguiente forma:

$$\boxed{PA4: \quad (Juan \text{ está vivo} \Rightarrow \neg \text{ Juan está muerto})}$$

$$\boxed{Juan \text{ está vivo} \Rightarrow \neg \text{ Juan está muerto}}$$

$$\boxed{\neg \text{ Juan está muerto}}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.7.2.- PROPIEDADES MODALES DE PROPOSICIONES.FORMULAS

En cada mundo posible, cada proposición atómica tiene un valor 'verdadero' o 'falso'. Como consecuencia, podemos definir otras propiedades para las proposiciones, llamadas **PROPIEDADES MODALES**, que determinan la forma en la que la verosimilitud de los valores de distribuye a través del conjunto de todos los mundos posibles que podemos definir.

Por ejemplo:

- 1.- Una proposición es posiblemente verdad sii es verdad al menos en uno de los mundos posibles. Si este mundo posible es el actual entonces la proposición es actualmente verdad.
- 2.- Una proposición es contingente sii es verdad en al menos un mundo posible.
- 3.- Una proposición es contingente sii es verdad en al menos un mundo posible y falsa en al menos un mundo posible.
- 4.- Una proposición es necesariamente verdad sii es verdad en todos los posibles mundos.
- 5.- Una proposición es necesariamente falsa si es falsa en todos los mundos posibles.
- 6.- Una proposición es no-contingente si es necesariamente verdad o necesariamente falsa.

REPRESENTACION

Las propiedades modales de las proposiciones se representan así

- $\Diamond P$ P es posiblemente verdad
- $\Diamond \neg P$ P es posiblemente falsa
- ∇P P es contingente
- P P es necesariamente verdad
- $\neg P$ P es necesariamente falsa
- $\blacktriangle P$ P es no-contingene.

Relaciones modales entre pares de proposiciones

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las proposiciones pueden relacionarse entre ellas de varias formas. Algunas de estas formas son las siguientes:

1.- Una proposición P1 es contradicción de otra proposición P2 si P1 es falsa en todos los posibles mundos en los cuales P2 es verdadera y P1 es verdadera en todos los posibles mundos en los cuales P2 es falsa.

Ejemplo: P1 'Juan vivió 108 años'
P2 'Juan no vivió 108 años'
P1 y P2 son contradictorias.

2.- Una proposición P1 es contraria a otra proposición P2 si aunque ambas puedan ser falsas en algún mundo posible, ambas no pueden ser verdaderas en ningún mundo posible.

3.- Dos proposiciones son inconsistentes si son contradictorias o contrarias. Un par de proposiciones que incluyen una proposición necesariamente falsa son siempre inconsistentes.

4.- Dos proposiciones son consistentes si no son inconsistentes.

5.- Una proposición P implica estrictamente a una proposición Q si Q es verdad en todos aquellos mundos posibles en los cuales P es verdad.

Ejemplo: 'Juan está casado con Pepa'
implica estrictamente a la proposición
'Pepa está casada con Juan'

6.- Dos proposiciones son equivalentes si implican a otra proposición, es decir, P es equivalente a Q si P es verdad en todos los posibles mundos en los cuales Q es verdad y Q es verdad en todos los posibles mundos en los cuales P es verdad.

Representación de las relaciones entre pares de proposiciones.

Representaremos las relaciones de la siguiente forma:

P	°	Q.....	P es consistente con Q
P	φ	Q.....	P es inconsistente con
Q			
P	⇒	Q.....	P implica estrictamente
a Q			

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$P \uparrow Q \dots \dots \dots P$ es equivalente a Q

Recordemos que la implicación modal denotada por ' \Rightarrow ' y la equivalencia modal denotada por ' \uparrow ' son distintas a la implicación material o condicional denotada por ' \rightarrow ' y a la bicondicionalidad material denotada por ' \leftrightarrow ' en la lógica funcional.

2.7.3.- PROPIEDADES Y RELACIONES ENTRE CONJUNTOS DE PROPOSICIONES.

Propiedades de conjuntos de proposiciones en lógica modal:

- (a) Un conjunto de proposiciones es verdadera sii cada miembro del conjunto es verdad.
- (b) Un conjunto de proposiciones es posiblemente verdad o auto-consistente sii existe un mundo posible en el cual cada miembro del conjunto es verdad.
- (c) Un conjunto de proposiciones es posiblemente falso sii existe un mundo posible en el cual al menos un miembro de ese conjunto es falso.
- (d) Un conjunto de proposiciones es necesariamente verdadero sii cada miembro del conjunto es necesariamente verdadero.
- (e) Un conjunto de proposiciones es necesariamente falso o auto-inconsistente sii en cada mundo posible al menos una proposición del conjunto es falsa.
- (f) Un conjunto de proposiciones es contingente sii ni es necesariamente falso ni necesariamente verdadero.

Relaciones entre conjuntos de proposiciones:

- (a) Dos conjuntos de proposiciones son consistentes sii existe algún mundo posible en el cual todas las proposiciones de ambos conjuntos son verdaderas.
- (b) Dos conjuntos de proposiciones son inconsistentes sii no son consistentes.
- (c) Un conjunto de proposiciones S_1 implica a un conjunto S_2 sii todas las proposiciones de S_2 son verdad en todos los mundos posibles en los cuales todas las proposiciones de S_1 son verdad.
- (d) Dos conjuntos de proposiciones S_1 y S_2 son equivalentes si S_1 implica S_2 y S_2 implica a S_1 .

2.7.4.- LOGICA MODAL DE PREDICADOIS

2.7.4.1.- El axioma del Sistema de Barcan

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El axioma del Sistema de Barcan para lógica modal de predicados contiene S2, excepto para el axioma $P \Rightarrow \neg\neg P$, junto con el siguiente esquema de axiomas.

AS1: $\forall x [P \Rightarrow Q] \Rightarrow [\forall x P \Rightarrow \forall x Q]$

AS2: $P \Rightarrow \forall x P$

AS3: $\diamond \exists x P \Rightarrow \exists x \diamond P$

Las reglas de inferencia son:

R1: modus ponens por implicación estricta.

R2: Conjunción

R3: Sustitución uniforme

R4: Generalización

Desde Px infiere $\forall x Px$ donde x es libre en P

Este axioma AS3, el cual ha sido conocido como la "fórmula de Barcan". Puede leerse como:

Si es posible que aquí exista una entidad X tal que $P(x)$ es cierta, entonces esto implica que aquí existe una entidad para la cual $P(x)$ es posiblemente cierta.

Para aplicar la fórmula de Barcan, hay que tener en cuenta lo siguiente:

1.- Nosotros aceptamos que la fórmula de Barcan es válida en sistemas modales en el cual todos los posibles mundos tienen el mismo dominio de entidades.

2.- En sistemas modales, en los cuales los posibles mundos tienen distintos dominios de entidades, debemos usar una lógica modal práctica en la cual la fórmula de Barcan no puede ser derivada.

2.7.4.2.- Sistemas de Prior

El sistema Prior para lógicas de predicados modal es una axiomatización de tipo-Gödel de S5, otra vez con dos reglas cuantificadoras tomadas de Lukasiewicz. El sistema completo contiene:

1.- Una compleja axiomatización de lógica proposicional clásica.

2.- Axiomas adicionales para conceptos modales:

AS1: $[P \Rightarrow Q] \Rightarrow [P \Rightarrow Q]$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

AS2: $P \Rightarrow P$

AS3: $\neg P \Rightarrow \neg P$

3.- Reglas de Gödel de inferencia.

R1: desde $\vdash P$ infiere $\vdash P$

4.- Reglas de Lukasiewicz para cuantificación.

R2: Desde $\vdash [P \Rightarrow Q]$ infiere $\vdash [\exists x [P \Rightarrow Q]$ donde x no es libre de Q

R3: Desde $\vdash [P \Rightarrow Q]$ infiere $\vdash [P \Rightarrow \exists x Q]$

5.- La definición

D1: $\Diamond P$ para $\neg \neg P$

El sistema Prior puede verse como conteniendo el sistema M extendido de S6 por la adición del axioma $\neg P \Rightarrow \neg P$, con las reglas para cuantificación obtenida antes.

La fórmula Barcan es derivable en el sistema de Prior, pero no siempre.

2.7.4.3.- La semántica de Kripke se aproxima a la lógica modal de predicados.

En esta aproximación cada mundo posible es una interpretación para una teoría en el sentido usual de la interpretación del mundo. De todas formas, hay una fuerza en la que todos los posibles mundos, los cuales son accesibles desde un mundo particular, pueden contener algún conjunto de entidades y pueden tener asignaciones de entidades constantes. Esta fuerza significa que los mundos posibles que son accedidos desde un mundo particular solo difieren en la relación en la cual las entidades forman parte.

2.8.- LOGICA TEMPORAL

No hemos considerado hasta ahora variables temporales en las estructuras relacionales. Distintas aproximaciones han sido desarrolladas para tratar con el tiempo: algunas envuelven extensiones de la lógica clásica, otras varios tipos de la lógica modal y una o dos están basadas en las lógicas internacionales.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Ahora veremos los dos primeros tipos.

2.8.1.- ACOMODAR EL TIEMPO EN LAS LOGICAS CLASICAS PREDICADOS DE PRIMER ORDEN

Estas pueden usarse para razonar acerca del tiempo, para mirar puntos temporales así como otras entidades en el dominio de las estructuras relacionales. Lundberg (1982) desarrolló una lógica basada en estas aproximaciones.

Estos puntos temporales son relacionados con otros mediante predicados en algún camino que otras entidades son relacionadas. Por ejemplo, Lundberg define dos predicados "et" y "ss", tal que $et(t_1, t_2)$ significa que el punto temporal t_1 es el antecesor a t_2 , y $ss(t_1, t_2)$ significa que t_2 es el suceso inmediato de t_1 . Las propiedades de las relaciones ET y SS, las cuales son representadas por los predicados et y ss, son expresadas en un lenguaje de primer orden como se muestra a continuación:

- a) $\forall x \forall y (et(x,y) \Rightarrow tpt(x) \wedge tpt(y))$]
donde tpt significa que x es un punto temporal
- b) $\forall x \forall y [et(x,y) \vee (x=y) \vee et(y,x) \vee \neg tpt(x) \vee tpt(y)]$
Esto puede leerse como dados dos puntos temporales uno es predecesor de otro o los dos son iguales.
- c) $\forall x \forall y [et(x,y) \wedge et(y,z)] \Rightarrow et(x,z)$
Los estados de et son transitivos.
- c) $\forall x \forall y [et(x,y) \Rightarrow \neg et(y,x)]$
Si un punto es predecesor de otro, este último no puede ser predecesor del primero.

En orden a los aspectos descritos de las relaciones de variables temporales, predicado n-arios son sustituidos por predicados (n+1)-arios, donde el argumento (n+1) también es un punto temporal.

2.8.2.- LOGICA TEMPORAL BASADA EN MODALIDAD

Muchas lógicas temporales han sido desarrolladas basándose en nociones de la lógica modal. Por ejemplo en una lógica temporal restrictivamente simple, "siempre" y "alguna vez" son definidas análogamente como "necesario"

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

y "posible" en lógica modal. Las siguientes fórmulas son generalmente incluidas como teoremas de tales lógicas:

$$\begin{aligned} \text{Siempre } Q &\Rightarrow \text{Alguna vez } Q \\ \text{Siempre } Q &\Rightarrow Q \\ Q &\Rightarrow \text{Alguna vez } Q \\ \text{Alguna vez } &\Rightarrow \neg \text{Siempre } \neg Q \end{aligned}$$

Las modalidades "siempre" y "alguna vez" pueden ser combinadas con otras modalidades como P para el pasado y F para el futuro.

	(llover)	significa:	está lloviendo
P	(llover)	significa:	llovió
PP	(llover)	significa:	ha llovido
F	(llover)	significa:	lloverá
FP	(llover)	significa:	habrá llovido

Otras modalidades pueden definirse en términos de P y F. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} Hq &= \neg P\neg Q & : & \text{ Ha sido siempre el caso que } q \\ GP &= F\neg q & : & \text{ Será siempre el caso que } q \end{aligned}$$

KT: La mínima lógica proposicional temporal

Un sistema de axiomas mínimo para una simple lógica temporal proposicional ha sido desarrollada por Lemmon. La lógica es llamada KT. El lenguaje de esta se basa en el lenguaje de la lógica proposicional, más los operadores modales F, P, G y H con el significado anterior.. Los axiomas lógicos de KT incluyen a las de la lógica proposicional clásica, tenemos:

$$\begin{aligned} G [q \Rightarrow r] &\Rightarrow [Gq \Rightarrow Gr] \\ H [q \Rightarrow r] &\Rightarrow [Hq \Rightarrow Hr] \\ \neg H \quad \neg Gq &\Rightarrow q \\ \neg G \quad \neg Hq &\Rightarrow q \end{aligned}$$

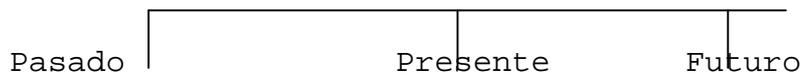
Las reglas de inherencia son las de la lógica proposicional clásica más:

$$\begin{aligned} \text{Si } q &\text{ es una tautología infiere } Hq \\ \text{Si } q &\text{ es una tautología infiere } Gq \end{aligned}$$

La lógica KT mira el tiempo como una secuencia lineal de estado:

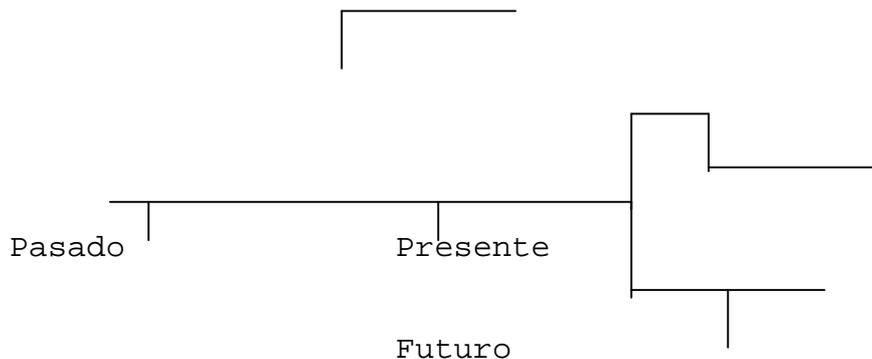
Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Aquí KT es llamada lógica temporal lineal. Un método de decisión automático para este tipo de lógicas ha sido desarrollado por Cavali y Farinas del Cerro. Su método está basado sobre una extensión de **resolución usado en la lógica clásica.**

Otra lógica a tener en cuenta en la Lógica Temporal de Branching, que mira el tiempo como una secuencia lineal de estado, una aproximación alternativa trata el pasado como una secuencia lineal de estados, . con una estructura ramificada:



3.- REPRESENTACION MEDIANTE REGLAS DE PRODUCCION.

3.1.- INTRODUCCION

Una regla de producción es una representación del conocimiento mediante reglas del tipo:

IF condición **THEN** Acción

Estas reglas las consideramos como determinísticas, pero pueden ser probabilísticas, añadiendo un valor entre 0 y 1, llamado valor de certeza.

Es posible imaginar reglas de predicción del tipo:

IF Condición **THEN** Acción **ELSE**Acción

pero estas reglas no son usuales, y más bien no existen, porque:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

*.- Ningún sistema se ha construido as-i, y además no hay ninguna herramienta para este tipo de reglas.

*.Si un sistema se construye con ese tipo de reglas, se puede sustituir por uno del tipo IF-THEN.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Según esto veamos porqué se utiliza el tipo de representación IF-THEN:

- 1.- La mayoría de los S.E. desarrollados usan reglas
- 2.- Los S.E. basados en reglas son muchos menos caros que otros que emplean otros modos de representación.
- 3.- La eficacia de los sistemas basados en reglas permite que el ingeniero del conocimiento centre su atención en el desarrollo de la base de conocimiento.
- 4.- Las reglas representan una forma particularmente natural de representar el conocimiento, y por tanto el tiempo requerido para aprender como desarrollar bases de reglas se minimiza.
- 5.- las reglas son transparentes, más que los frame y las redes.
- 6.- Las reglas son fácilmente modificables, en particular adiciones, borrados y revisiones de la base de reglas.
- 7.- La validación del contenido de los sistemas basados en reglas es un proceso relativamente simple.

Una elección alternativa para las reglas IF-THEN es la de condición-acción o premisa-conclusión.

Las reglas de producción contiene tripletas OAV (objeto, atributo, valor) en el IF o premisa.

Es importante la distinción entre los valores listados en la premisa de una regla y los listados en la conclusión. En la premisa de la regla se comparan los valores de la declaración con los valores proporcionados. En la conclusión se asigna un valor a un atributo.

Cada cláusula de la premisa y de la conclusión contienen atributos y valores. Por otra parte deben tener asociado un objeto, implícito o explícito.

El par AV es el bloque principal de una premisa o conclusión asociada a cada AV par existen un conjunto de propiedades:

- .1.- Nombre del atributo.

El nombre del atributo es simplemente una palabra seleccionada para identificar el atributo del objeto asociado con la cláusula considerada.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.- Tipos.

Los tipos de los valores de los atributos pueden ser numéricos, o simbólicos. Es preferible trabajar con tipos simbólicos, ya que los expertos, que vayan a utilizar un S.E. darán sus resultados simbólicamente y pocos numéricamente.

Numérico: 1.000 Kg. Simbólico: Pesado

Es preferible tener los dos.

3.- Preguntas (Prompt)

El prompt hace referencia a sí se le va a hacer algún tipo de pregunta sobre ese artículo, y como se le debe hacer.

Nunca se debe preguntar el valor de un atributo que esté en la consecuencia.

4.- Valores legales para el atributo.

Asociado a cada atributo existen un conjunto de valores aceptables o legales. Por ejemplo, los valores legales del peso de una persona está en el conjunto de los número reales no negativos.

5.- Valores específicos.

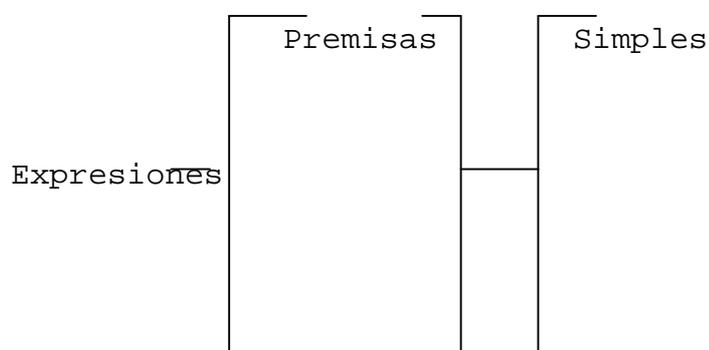
Los valores legales representan un conjunto completo de valores para cada atributo. Los valores específicos indican el conjunto actual de valores que van a ser comparados.

6.- Factor de certeza.

Puede darse a la tripleta (OAV) un valor de certeza, que puede ser del grado de incertidumbre.

3.2.- EXPRESIONES (Premisas o Conclusiones)

Las expresiones que pueden ser premisas o conclusiones, se pueden dividir como sigue:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Primeramente, indicaremos que una premisa o conclusión consta de una o varias cláusulas. A partir de ahora, vamos a suponer que son varias cláusulas.

Las cláusulas múltiples, deben ser **CONJUNTIVAS** (CONECTADAS con AND) o **DISJUNTIVAS** (unidas con OR). A veces, indicamos que las cláusulas disjuntivas no están permitidas en la conclusión de las reglas. También, notamos que las premisas de las reglas deben ser bastante completas.

Otra propiedad de las cláusulas es que se pueden asociar sólo con premisas. Esa es la propiedad que puede ser libre o especificada, y si es especificada debe ser con true o false. Si los valores de los atributos de la premisa todavía no se conocen, la cláusula es denominada como cláusula LIBRE. Hay que distinguir entre que no se conocen y desconocidos. Nosotros debemos hacer esta distinción, para la siguiente parte. Si la cláusula es libre, entonces cada cláusula será verdadera o false.

Según esto debemos tener en cuenta que:

- Si el valor de los atributos de la premisa no son todavía conocidos, entonces la cláusula es libre.
- Si el valor de los atributos de la premisa son conocidos, y la cláusula es satisfactible, entonces la cláusula es cierta.
- Si los valores de los atributos de la premisa son conocidos, y la cláusula no es satisfactible, entonces la cláusula es falsa.

Para comprender mejor esas propiedades articulares, vamos a usar una base de conocimiento:

Regla 1: Si el precio máximo para dormir en un Hotel es menor o igual que 75 dolares
Y se desea una localización céntrica
Entonces se selecciona el Fred's Beds.

Regla 2: Si el precio máximo para dormir en un Hotel es mayor de 75 dolares
O el tipo de cama es de tamaño extra

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

entonces se selecciona el King'Castle.

Inicialmente, antes de que nosotros consultemos estas reglas base, todos los valores de los atributos no son todavía conocidos, y por tanto todas las premisas son libres. Ahora si nosotros consultamos la base de conocimiento y respondemos que el máximo a pagar por dormir es menor de 75 dólares, entonces la primera premisa de la primera regla es cierta, mientras que la primera premisa de la segunda regla es falsa. Después respondemos que deseamos un tipo de cama de tamaño extra. Según esto, se cumple la condición de la segunda regla, debido a la segunda premisa de la segunda regla.

Las propiedades de libre, verdadero o falso parecen estar integradas. Y difieren entre ellas. A veces hay un cierto grado de confusión cuando uno habla de desconocido como un valor de un atributo. tengamos en cuenta la diferencia entre desconocido y no es todavía conocido. No es todavía conocido significa que el valor para su respectivo atributo no ha sido todavía determinado (es decir, tenemos que hacer una pregunta para saber su valor, o saberlo por inferencia), y desconocido puede ser un valor que se le puede dar al atributo, o por otra parte que nunca se pueda saber ese valor, mediante el proceso e inferencia.

3.3.- LAS REGLAS

3.3.1.- FUNCIONAMIENTO DE UNAREGLA

Una regla funciona de la siguiente manera:

- Le doy un hecho del dominio en el que se mueve el sistema.
- El motor de inferencia, busca una regla, cuya premisa coincida con dicho echo.
- Obtengo por tanto la conclusión.
- Se pregunta que es lo que debo hacer después.

Los problemas que se pueden presentar son muchos, como por ejemplo:

Si $A = X$ y $B = Y$ Entonces $C = Z$

Si sabemos que $A = X$, no se puede concluir nada todavía. Lo que hacemos es que se pregunta por B . Se puede dar que no tenga el valor de B , pero lo puedo conseguir, o por el contrario que no lo pueda conseguir, y entonces decidiremos que es lo que tengo que hacer.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.3.2.- CARACTERISTICAS DE LAS REGLAS

Algunas de las propiedades más típicas de las reglas, incluyen:

1.- Nombre de la regla.

Aunque desde un punto de vista formal, no hace falta, desde un punto de vista práctico se le debe dar un distintivo, principalmente un nombre descriptivo.

2.- Premisa (IF).

Cada regla consta de una o más premisas. El total del conjunto de premisas, es denominado regla premisa.

Una regla premisa debe contener conjunciones y disyunciones de cláusulas. Cuando nosotros queramos saber el estado de la regla premisa, deberemos examinar el estado de todas las premisas de la regla premisa.

3.- Conclusiones

Cada regla contiene una o más cláusulas conclusión. En el caso de múltiples cláusulas conclusión, la cláusula debe ser conjuntiva. Hay dos tipos de reglas conclusión: Conclusión intermedia y Conclusión final. Una conclusión intermedia es una conclusión de una regla, y la premisa de otras. Una conclusión final es una que no es utilizada como premisa en otra regla. Algunas reglas tienen conclusiones intermedias, usadas para filtrar varias posibilidades.

4.- Notas, Referencias y comentarios

Esto es esencial para la documentación de las reglas. Algunas veces se permite la inclusión de notas y referencias y estas son las características que se deben usar en la construcción de una base de conocimiento actual.

5.- Factor de Confianza.

Casi ningún sistema, admite un factor de certeza de tripleta en tripleta. La mayoría de los sistemas lo que indican es cuanto me creo la conclusión en relación a las premisas. Pueden dar valores entre -1 y 1.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

6.- **Prioridad y Costo.**

Algunas veces se suele asignar una prioridad y/o coste a cada regla,. Tl propiedad es normalmente empleada como un factor de decisión, durante el proceso e inferencia, para indicar la regla a usar con una determinada instancia. Normalmente se selecciona la regla de mayor prioridad y menor costo.

7.- **Preferencia en el encadenamiento.**

Como nosotros podemos ver, en el proceso e inferencia está involucrados cada uno de los procedimientos. En algunos casos, cada movimiento es hacia delante, para inferir la conclusión a partir de las premisas necesarias (desde las premisas a la conclusión. En otros casos es hacia detrás).

8.- **Estados de las reglas**

Una regla puede estar en los siguientes estados:

- 1 La premisa de la regla es cierta siempre que se le pase un test y este test determine que la regla es **satisfactible**.
- 2 La premisa de la regla es falsa siempre que se le pase un test y este test determine que la regla es **no satisfactible**.
- 3 Si la premisa de la regla es cierta, entonces se dice que la regla está **disparada**.
- 4 Si la premisa de la regla es falsa entonces se puede decir que la regla está **rechazada**, o que está **inactiva**.
- 5 Si la regla está "encendida" entonces esto implica que la acción implicada por la conclusión es cogida. Los valores asociados con cada atributo de la conclusión para esta regla se dice que son asignados.
- 6 Una regla que ha sido "encendida" no está mucho tiempo activa. Esto es porque se rechaza o porque se desactiva.
- 7 Si una regla es activada, debe haber sido antes disparada.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

D = XX y D= YY

Entonces esto se puede solucionar de la siguiente forma:

Regla 1: SI A = X
 O B = Y
 ENTONCES D = XX (cf = 0.3)

Regla 1: SI A = X
 Y C = Z
 Y B = NOT Y
 ENTONCES D = YY (CF = 0.6)

.Y si cf es usado para representar el factor de certeza para una regla, entonces nosotros podemos encontrar varias reglas disparadas, como:

D = XX con grado de certeza 0.3
D = YY con grado de certeza 0.6

Hay algunas instancias en las cuales múltiples conclusiones pueden tener sentido, aunque dudas sobre su empleo.

3.- Grupo de Reglas.

Para que se entiendan, se mantengan, validen y la documenten mejor las reglas de la base de conocimiento, debe de haber un grado de organización de las reglas. Esto se hace para grupos de reglas juntas, que tengan similares conclusiones y atributos. De hecho, cada regla de un grupo tiene unas conclusiones y atributos en común. Esto se puede apreciar en varios factores, que implican los atributos de la conclusión.

Cada regla debe estar en un grupo, y cada grupo de reglas deben estar ordenados. La ordenación de reglas de grupo se hace teniendo en cuenta los atributos de la conclusión. Esto es, el rango del grupo más alto, es aquel que cuyo objetivo es la conclusión final de la base de conocimiento. El grupo inferior en el rango, es aquel cuyas premisas son utilizadas en el rango más alto. Y así sigue el proceso de ordenación.

Podemos formar subgrupos de reglas dentro de cada grupo, de idéntico modo al que formamos los grupos de reglas.

4.- Premisas de cláusulas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Algunas veces, en el interior de una simple regla, el orden de las premisas es particularmente importante.

5.-Redundancia y detalles innecesarios.

Hay que tener mucha precaución con este tema. Quién tiene experiencia en la construcción de otros modelos, sabe que debe suprimir en la construcción de cada modelo, redundancia y detalles innecesarios. El empleo de la experiencia parece lógico. Desafortunadamente esta costumbre puede llevar a falsas economías en la construcción de la base de reglas.

6.- Conocimiento procedural.

Hay que evitar al máximo el uso de conocimiento procedural.

7.- Tipos de los atributos.

Un sistema experto es más apropiado para problemas donde los valores de los atributos sean símbolos, en lugar de números. Esto no quiere decir que no se puedan usar números como valores de un atributo, pero que si se usan, es menos eficiente.

Hay otra razón para utilizar símbolos, en lugar de números: Los humanos tendemos a utilizar los símbolos más que los números. Un ejemplo, es que nosotros decimos con más normalidad ese hombre está gordo, que ese hombre debe pesar 120 Kg. En aquellos dominios donde se usan números, lo que hacemos es convertir esos números en símbolos. Esto provoca que la base de conocimiento sea más legible.

3.3.4.- HERRAMIENTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REGLAS

Las herramientas más utilizadas para la construcción eficientes de reglas son las siguientes:

1.- Método de Tablas

El método de Tablas utiliza una representación denominada AV-Par Tablas, que consta de unas premisas, unas conclusiones, unos atributos y un valor referente a cada regla.

Veamos un ejemplo:

Regla 1: SI A = a
 Y B = b
 ENTONCES R = r

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Regla 2: SI A = NO a
 Y C = c
 ENTONCES S = s

Regla 3: SI S = s
 Y B = b
 ENTONCES X = x

La tabla está dividida en tres secciones. La sección más alta contiene los atributos y valores de las premisas de las reglas de la base. La parte baja, contiene las conclusiones. La mitad de la sección de la tabla está asociada con la regla 2, cláusula 3, representa la conclusión intermedia.

Atributos y valores para la base de conocimiento.

Regla	Cláusula	Atributo
1	1	A
a		
2	1	A
NOT a		
1	2	B
b		
3	2	B
b		
2	2	C
c		
3	1	S
s		
2	3	S
s		
1	3	R
r		
3	3	X

Examinando la AV-Par Tabla, tal como se muestra en la tabla se puede obtener una mejor apreciación del contenido de la base de reglas, y también identificar el problema potencial.

2.- Red de Inferencia.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La tabla AV-Par es usada para la documentación y evaluación de las reglas de la base. Hay también un gráfico aprovechado para la documentación de las reglas de la base que puede ser útil. Este se usa para las redes de inferencia.

Nosotros seguiremos los siguientes acuerdos en la red de inferencias. Primero una caja significa una afirmación, esto es, la asociación de atributos de premisas con un determinado valor. Los círculos se van a usar para representar las conclusiones. Un círculo incluido dentro de una caja representa una conclusión intermedia. Finalmente, afirmaciones y conclusiones intermedias pueden estar combinadas mediante conectivas lógicas, principalmente AND y OR. En la figura 1 se muestran los gráficos de esta notación.

Una forma más general de red de inferencia, está exhibida en la figura 2. En esta figura nosotros hemos utilizado letras para representar las distintas cláusulas.

Las producciones equivalentes son las siguientes:

Regla 1: Si B y C
ENTONCES G

Regla 2: SI A Y G
ENTONCES I

Regla 3: SI D Y G
ENTONCES J

Regla 4: SI E O F
ENTONCES H

Regla 5: SI D Y H
ENTONCES K

Los procedimientos de inferencia pueden hacer más claros el significado de las redes de inferencia. Como hemos mencionado, los procesos normales de inferencia pueden ser de traza hacia delante, y traza hacia detrás. Examinando la figura 2, veamos lo que pasa si trabajamos con el siguiente conjunto de datos: A, NOT, B, C, D, E Y NOT F. Refiriéndonos a la figura 2, concluiremos lo siguiente:

- .- La regla 1 debe ser descartada.
- .- La regla 2 no puede ser disparada, hasta que no concluyamos G.
- .- La regla 3 no puede ser disparada hasta que no concluyamos G.
- .- La regla 4 se dispara.
- .- H no se puede concluir hasta que no se "encienda" la regla 4.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

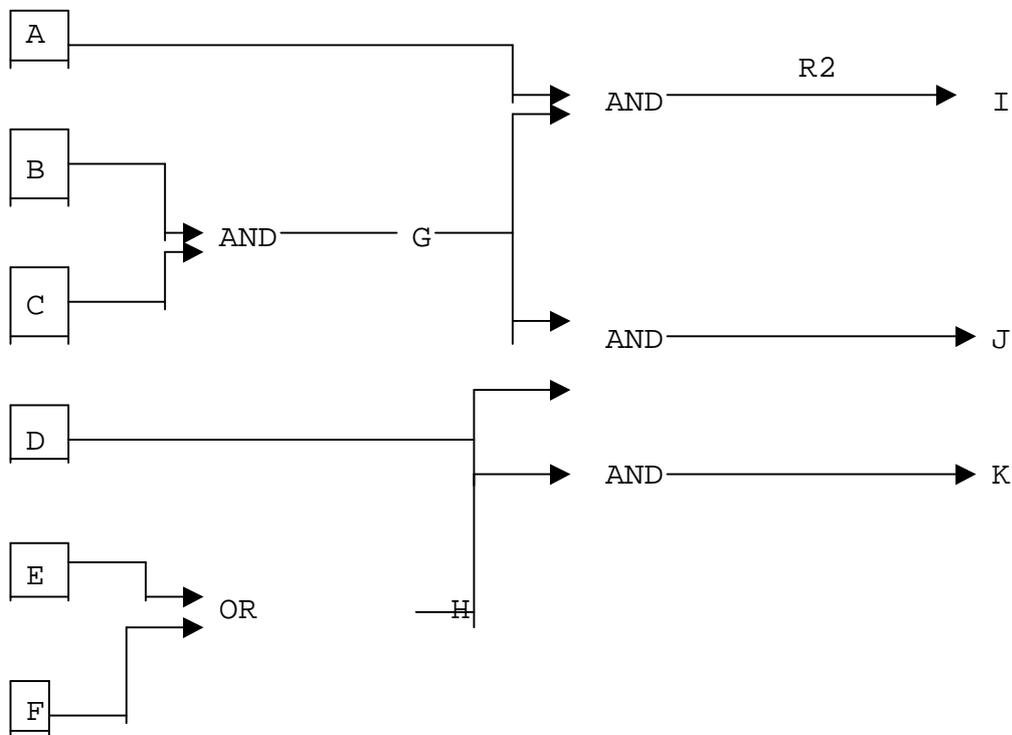
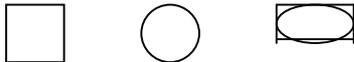
.- La regla 5 puede ser disparada cuando conozcamos D y H se haya

Concluido.

.- Para "encender" la regla 5, debemos concluir K.

Observemos que para encontrar la solución final, nos movemos de izquierda a derecha por la red de inferencia (traza hacia adelante). Lo que hacemos que a partir de un conjunto inicial concluimos lo buscado.

Podemos también usar traza hacia atrás en la red de inferencia. Usando la figura 2. Vamos a suponer que queremos concluir la conclusión "I". Ahora nosotros para concluir "I" debemos primero disparar la regla 2, que ocurrirá solo si A y G son ciertas. Después para concluir G debemos primero que disparar la regla 1, que será posible si B y C son ciertas. Después para concluir G debemos primero que disparar la regla 1, que será posible si B y C son ciertas. De este modo, moviéndonos hacia detrás de la red, de derecha a izquierda, sabemos que premisas se deben cumplir para que sé de la conclusión final "I".



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

FIGURA 2

Mientras la red de inferencia proviene de la ilustración gráfica de la cadena, un procedimiento más formal es necesario actualmente para conducir procesos de inferencia más largos, más realistas, y más problemáticos.

3.3.5.- Validación de un S.E. de reglas

Para realizar la validación hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

1.- Completitud.

Para ello hay que validar que la base es sintácticamente correcta y un poco semánticamente bien escrita, teniendo en cuenta:

- .- Hay que ver si hay valores no empleados.
- .- Empleo de valores no legales.
- .- Metas o conclusiones inalcanzables.

2.- Inconsistencia.

Hay que tener en cuenta este punto:

- .- Reglas redundantes.
- .- Reglas conflictivas.
- .- Reglas sumergidas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 4: REPRESENTACION ESTRUCTURADA DEL CONOCIMIENTO

1.- Introducción

2,. Representación Declarativa.

2.1.-Introducción

2.2.- Redes semánticas

2.2.1.- Introducción

2.2.2.- Primeras aplicaciones de las Redes semánticas

2.2.3.- Tipos de redes semánticas.

2.2.4.- Otros modelos de representación.

2.3.- Frames

2.4..- Guiones

3.- Representación Procedural.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

REPRESENTACION ESTRUCTURADA DEL CONOCIMIENTO

1.- INTRODUCCION.

Los métodos de representación del conocimiento discutidos en los capítulos anteriores son útiles para representar hechos simples. Pero los objetos de esas representaciones son tan simples que no puede describir con facilidad la mayor parte de la estructura compleja del mundo. Por ejemplo, el mundo contiene objetos individuales, cada uno de los cuales tiene diversas propiedades, incluyendo las relaciones con otros objetos. A menudo es útil reunir estas propiedades para formar una descripción única de un objeto complejo.

Un buen sistema para representar el conocimiento estructurado y complejo de un dominio concreto debería poseer las cuatro propiedades siguientes:

1.- Adecuación representacional

Es la capacidad de representar todas las clases de conocimiento que se necesitan en ese dominio.

2.- Adecuación inferencial

Es la capacidad de manipular las estructuras representativas de forma que puedan derivarse nuevas estructuras correspondientes a conocimiento nuevo a partir de las anteriores.

3.- Eficiencia Inferencial

Es la capacidad de incorporar a la estructura de conocimiento información adicional que pueda usarse para centrar la atención de los mecanismos de inferencia en las direcciones más prometedoras.

4.- Eficiencia Adquisicional.

Es la capacidad de adquirir nueva información con facilidad. El caso más simple es el de una persona que inserta directamente el nuevo conocimiento en la base de datos. Idealmente, el programa mismo debería ser capaz de controlar la adquisición de conocimiento.

Teniendo en cuenta estas reglas, se pueden deducir dos tipos de técnicas:

1.- **Métodos declarativos**, en donde la mayor parte del conocimiento se representa como una colección estática de hechos junto con un pequeño conjunto de procedimientos generales para manipularlos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las principales ventajas de la representación declarativa son:

- Cada hecho solo necesita almacenarse una vez, sin importar el número de formas en que puede usarse.
- Es fácil añadir nuevos hechos al sistema sin cambiar los otros hechos en los procedimientos pequeños.

2.- Métodos Procedurales, en donde la mayor parte del conocimiento se representa como procedimientos para usarlos.

Las principales ventajas de la representación procedural son:

- Es fácil representar el conocimiento cómo hacer cosas.
- Es fácil representar el conocimiento que no encaja bien en muchos esquemas declarativos simples. Ejemplos de esto son los razonamientos por deceso y probalístico.
- Es fácil representar conocimiento heurístico de cómo hacer las cosas eficientemente.

2.- REPRESENTACION DECLARATIVA.

2.1.-INTRODUCCION

A continuación vamos a describir tres mecanismos para la representación del conocimiento descubriremos:

.- **Redes semánticas**, que son suficientemente generales para poder describir a la vez acontecimientos y objetos.

.-**Marcos**, una estructura general usada normalmente para representar objetos complejos, a menudo desde diversos puntos de vista.

.-**Guiones**, una estructura más especializada usada generalmente para representar secuencias comunes de acontecimientos.

2.2.-REDES SEMANTICAS

2.2.1.- INTRODUCCION

Una red es un conjunto o grafo de nodos unidos por ligas. Los nodos en una red semántica usualmente representan conceptos o significados (p.e representan relaciones (p. Ej. un libro es de color verde). Un gran número de redes semánticas han sido diseñadas como variaciones de este simple modelo. Algunas de estas redes han sido propuestas como modelos

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

de memoria humana y representación de significados mientras que otras son usadas como componentes de sistemas de entendimiento y razonamiento del lenguaje.

Los orígenes de las redes semánticas viene del **Asocionismo** de Aristóteles (el comportamiento es controlado totalmente por asociaciones aprendidas entre conceptos) y del **Reducción** (los conceptos son construidos de conceptos más elementales).

Alrededor de 1869 **James Hills** demostró que el uso de un término de un concepto simple para referirse a algunas ocurrencias de un concepto inducía a una ambigüedad si aquel concepto presentaba más de uno (p ej, una representación del LIBRO podría no distinguir entre "el libro de Juan" y "el libro de María", es requerida una representación por cada libro). No obstante no especificó la solución dominante corrientemente a este problema de distinguir entre "tipos" (p. Ej. El concepto LIBRO) y Tokens (ocurrencias individuales de un concepto).

Thomas Brown (1820) aportó la noción de etiquetar las ligas con información semántica (p. Ej. El libro PERTENECE a Juan), en lugar de darle fuerza asociativa (p.ej. el libro ES ASOCIADO CON Juan).

Otto Seltz en 1926 aumentó la complejidad de las redes semánticas sugiriendo que los caminos entre los nodos que cruzan la red podrían ser medios para razonar.

Todas estas ideas fueron tomadas por **Quillian** (1966) quién propuso el primer y mayor sistema que usaba las redes semánticas.

Desde Quillian un gran número de redes semánticas han sido propuestas. Las cuales tienen algunas características en común. Una reciente revisión de las redes puede solo distinguir cuatro acepciones que son comunes a las redes revisadas. Estas fueron:

- La teoría de redes fue diseñada para aclarar las relaciones entre conceptos (relaciones intencionales), en particular entre el significado de las palabras. No englobaban principios generales concernientes a relaciones entre los conceptos y los objetos del mundo real (relaciones extensionales).
- Un corolario de esto, las redes semántica son construidas bajo la asunción de que las redes sintensionales pueden ser consideradas independientemente de las extensionales.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

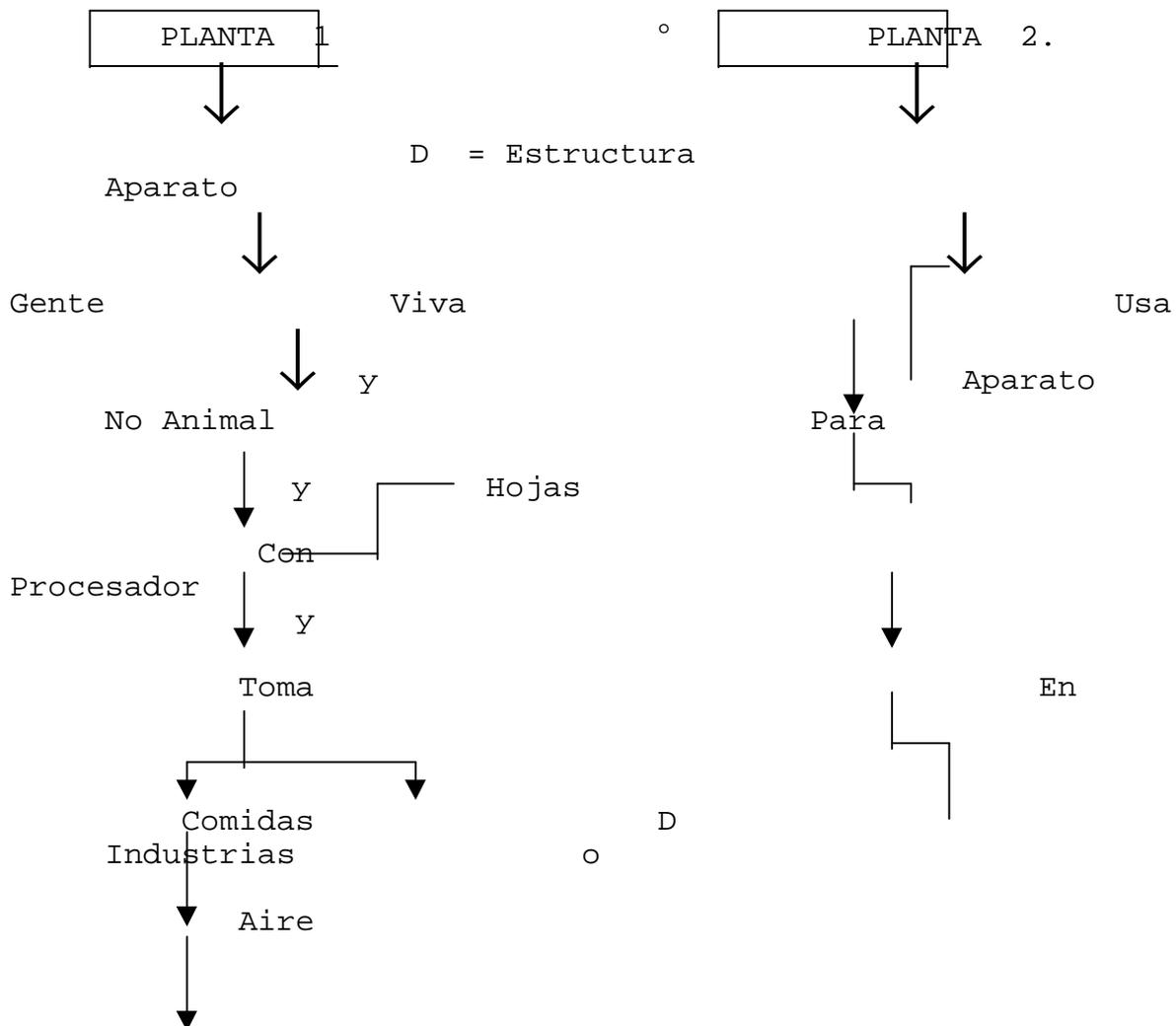
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Las teorías de redes están basadas en un formalismo que contiene tres componentes: un poder, una representación semántica consistente en una red de ligas entre nodos, y un conjunto de procesos interpretativos que operan con la red.

2.2.2.- Primeras aplicaciones de las Redes semánticas.-

Quillian fue el primero en aplicar las ideas de las redes semánticas en el campo de la I.A, y más específicamente, en el campo de la traducción/comprensión del lenguaje natural. Para este fin, él propuso un modelo asociacional de memoria humana que denominó Memoria semántica (Quillian, 1968). Su idea fue capturar el significado objetivo de las palabras en un esquema de codificación suficiente poder para reflejar la estructura y posibilidades de la mente humana pero lo bastante simple y uniforme para ser implementado en un computador.

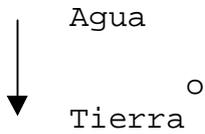
Veamos un ejemplo, refiriéndose a una plante industrial y a una planta vegeta:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

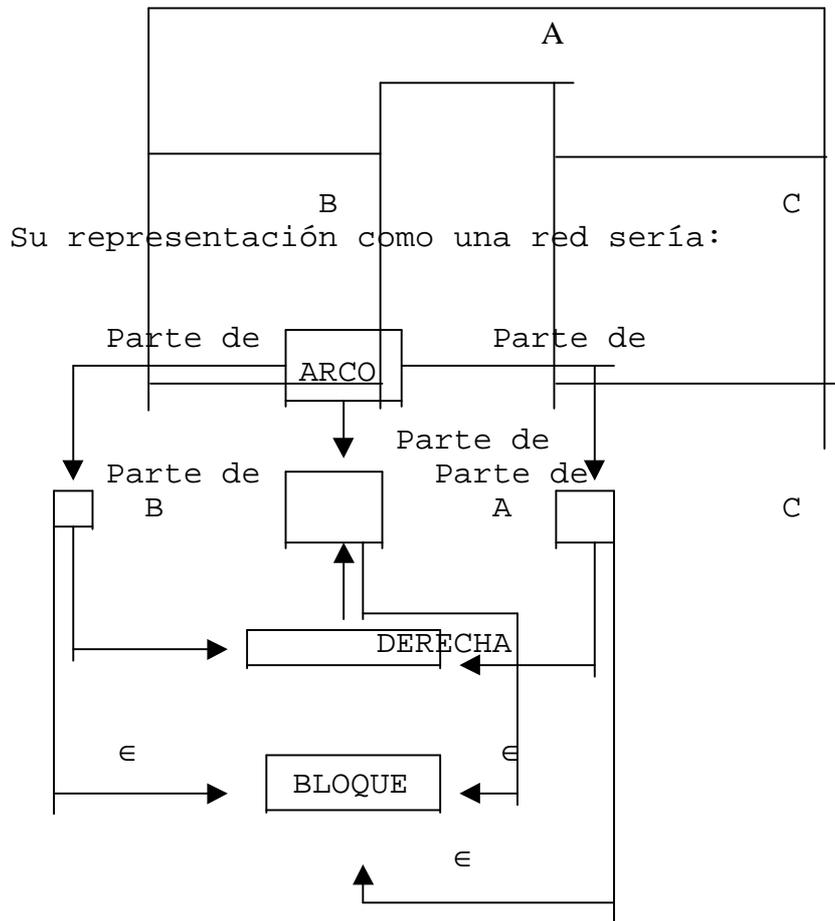
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

o



El trabajo de Winston en Descripciones estructuradas (Winston, 1975) es otro uso de las redes semánticas. Él estuvo trabajando en el campo de aprendizaje por máquina y estuvo interesado en el aprendizaje de ejemplos de conceptos detrás de estructuras comunes que él tomó del mundo de los bloques, por ejemplo, pedestales, arcos, etc. Construidos a partir de los bloques rectangulares y prismas triangulares.

Veamos un ejemplo de un arco, que Winston lo definió mediante una red



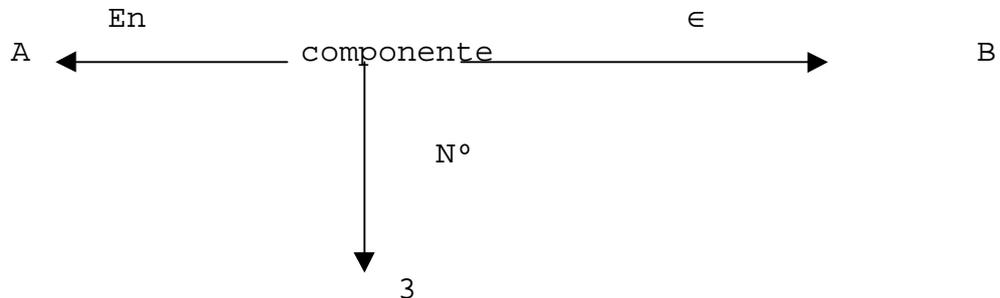
Con las redes de Quillian no se puede expresar tiempos de verbos. Sin embargo con las redes de Winstons se puede representar el presente y el imperativo.

Mediante redes semánticas se puede representar relaciones binarias y a partir de ellas se pueden representar relaciones n-arias.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

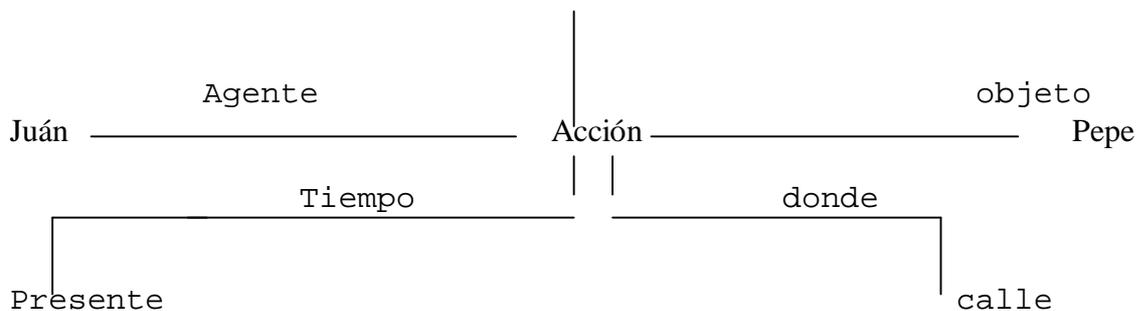
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Ejemplo:

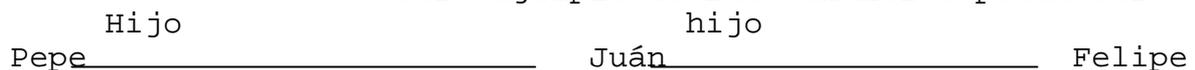


También se pueden representar acciones, que tiene una cualificación, agentes, localización y tiempo.

Golpear



Otro ejemplo de red semántica puede ser:



Aquí solo tenemos representado que Pepe es hijo de Juán y este a su vez es hijo de Felipe. Si quisiéramos representar todo lo referente a padres, nieto y abuelo habría que indicarlos, cosa que no sucedería si tuviésemos Metaconocimiento.

Con las redes semánticas no se puede hacer inferencia, únicamente lo que es propio, es decir, la herencia semántica, que se puede expresar como:

Si un estereotipo está ligado mediante \subseteq y \in entonces hereda todas las características de el.

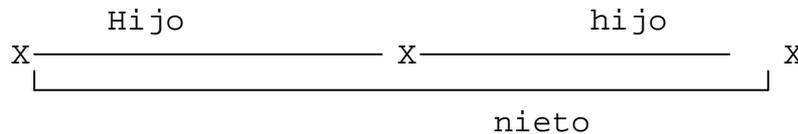
Se puede trabajar con características por defecto, herencia por defecto, al igual que inferencia por acoplamiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

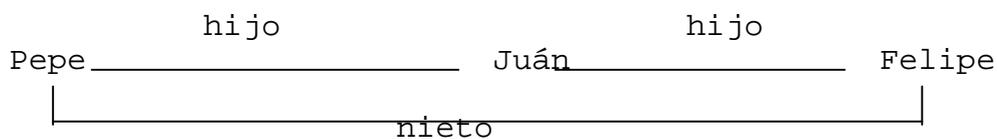
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Y como yo sé que



entonces se puede acoplar y dar lugar a:

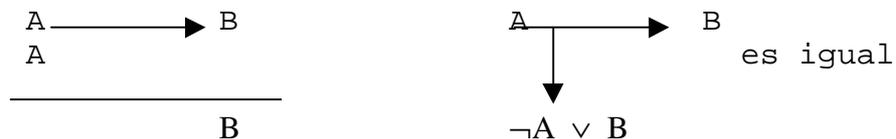


2.2.3.- Tipos de redes semánticas.

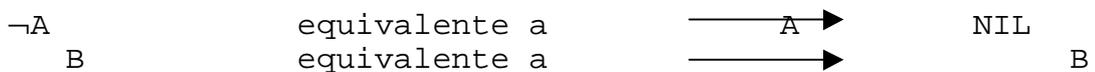
Se han desarrollado modelos alternativos a las redes semánticas, pero siguiendo su misma filosofía:

*.- Redes semánticas extendidas

Fueron desarrolladas por Kovalski, y su utilidad radica en facilitar la inferencia, en el sentido de la lógica clásica.



Según esta notación podemos poner lo siguiente:



Concluimos que



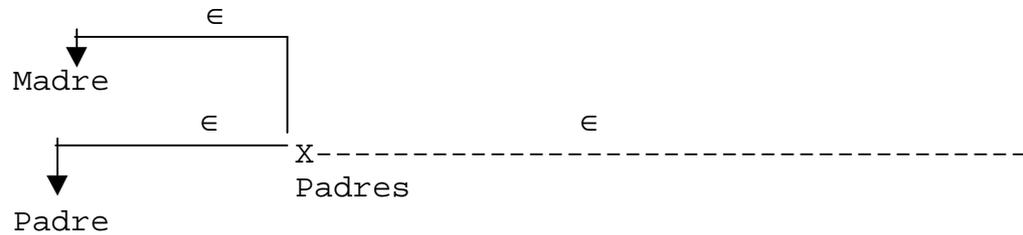
Todo hecho negativo (antecedente) se puede representar por medio de arcos discontinuos y los positivos mediante arcos discontinuos.

Veamos un ejemplo:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

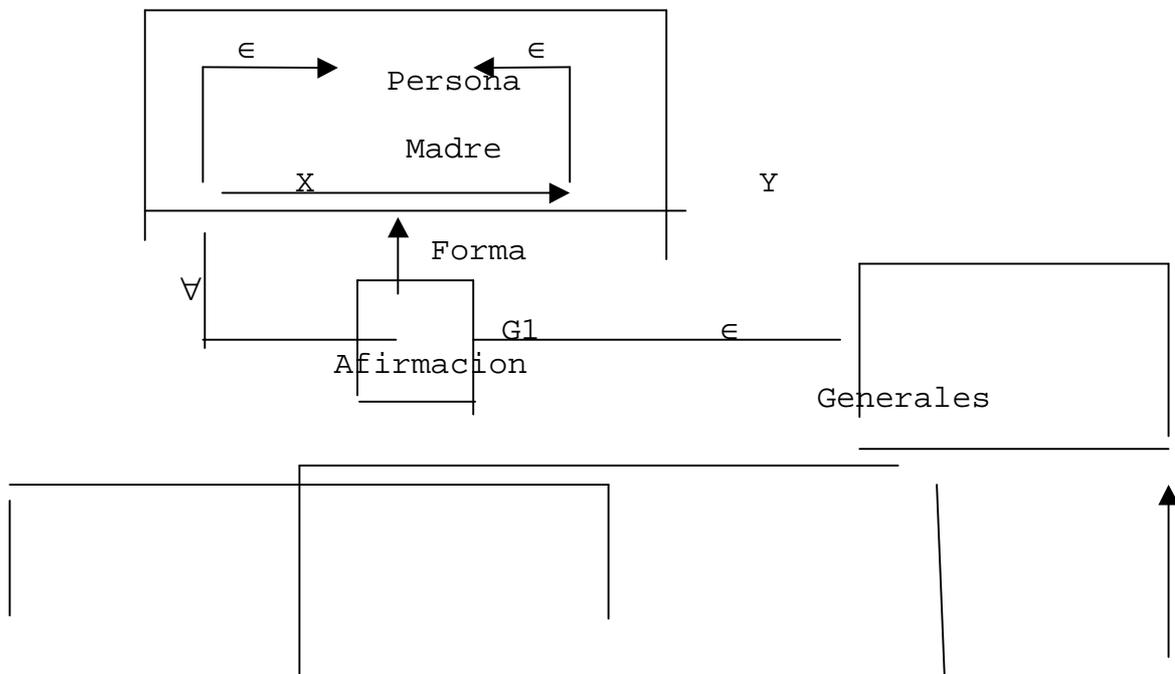


La inferencia se realiza haciendo acoplamiento.

*.- Redes semánticas particionadas.

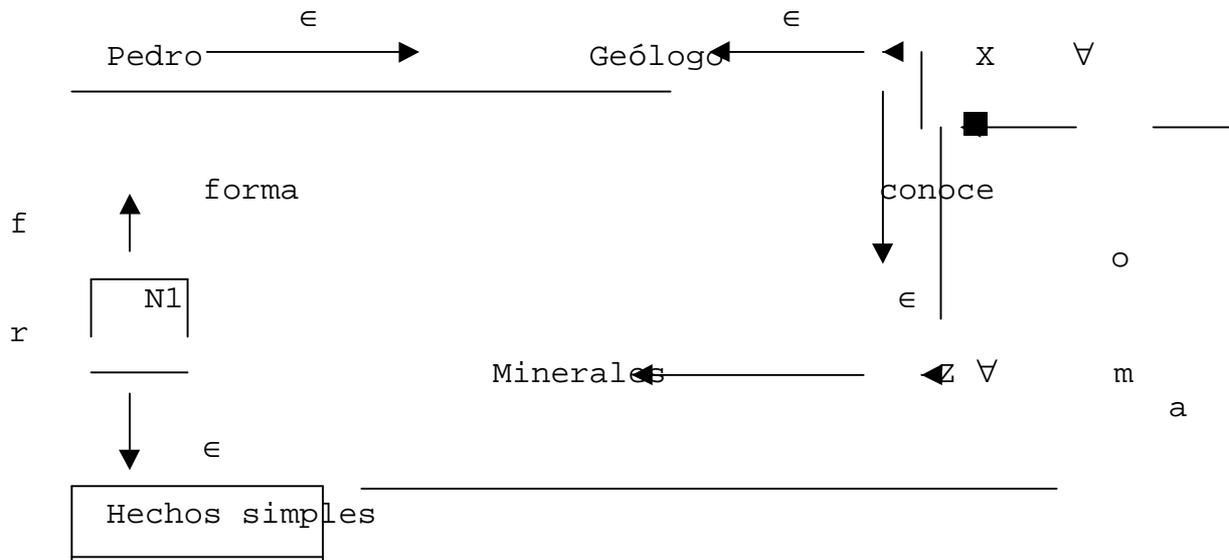
Fueron desarrolladas por Hendric, e intentan representar jerarquizar el conocimiento. En este modelo la ligadura entre acciones son de diferente categoría a las ligaduras entre una acción y un agente.

La idea de Hendric es jerarquizar nodos simples y compuestos, participando la red desde los nodos simples a una situación global.



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



2.2.4.- Otros modelos de representación

Las primitivas de redes tienen un problema: La relación que une un objeto y una acción que siempre es la misma.

Chomsky discutió lo que llamó **Relaciones Sujeto-Objeto**. A raíz de los trabajos de Chomsky han aparecido una serie de modelos de representación basados en la lingüística:

1.- Gramáticas de casos.

Este modelo fue desarrollado por **Fillmore**. Se introducen ligaduras entre objetos y acciones de un mismo tipo. Puede haber 6 tipos:

- 1) Como Agente.
- 2) Como Instrumento
- 3) Como objeto (objeto complemento directo)
- 4) Objeto circunstancial
- 5) Objeto factual.

2.- Dependencia conceptual.

Fue introducido por Shanck (1972). Ha sido de las de mayor impacto en el I. A.... En un problema existen varios tipos de primitivas:

1) ENTIDADES

- PP:** Productora de imagen (actores)
- PA:** Ayudante de los actores

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2) ACCIONES

ACT: Acción

AA : Ayudante de la Acción.

Las acciones se definen en función de las siguientes primitivas:

ATRANS: Transformación abstracta.

PTRANS: Transformación física de una entidad.

MTRANS: Transformación de información.

CONC : Concentro de un órgano sentencial en un estímulo.

EXPEL: Expulsar fuera de.

GRASP: Coger.

INGEST: Tragar.

MBUILD: Construir (cambiar información).

MOVE : Mover.

PROPEL: Aplicar fuerza física de un objeto.

SPEACH: Emitirlo.

3) TIEMPOS

Los modificadores de acciones son los que nos da el tiempo de las escenas y períodos:

C : Condicional

P : Pasado

F : Futuro

¿ : Interrogante

/ : Negación

T : Transición

TS : Inicio de transición.

TF : Final de Transición.

4) CASOS

Los casos modifican la relación entre objetos y acciones:

*.- **O:** Modificar el objeto o
Juán bebió leche

Juán ↔ INGEST
↑

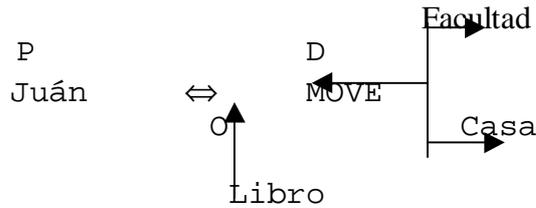
Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

O
Leche

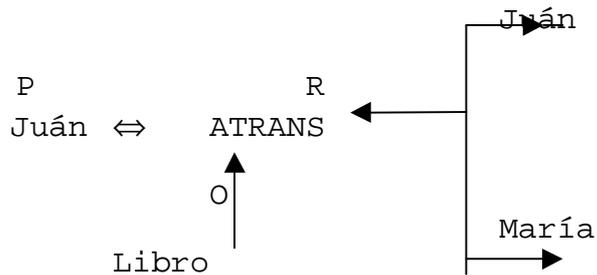
*.- **D** : Dirección

Juán lleva el libro de la Facultad a su casa



*.- **R**: Recepción

Juan regaló el libro a María



*.- **I** : Instrumental

Juán se toma la leche con una cuchara

Juán ↔ INGEST

O
Leche

↑
I
Cuchara

5) DEPENDENCIAS

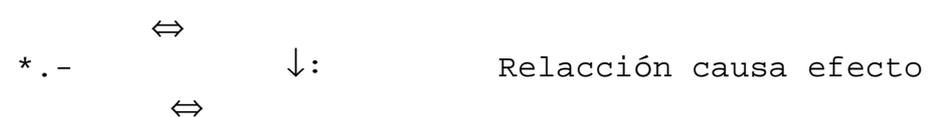
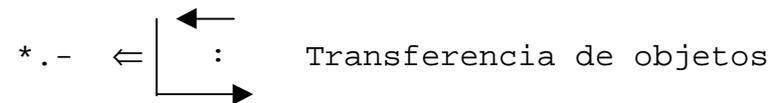
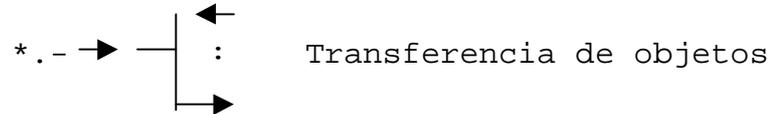
*.- ↔ : Entre actores y acciones.

*.- → : Entre modificadores y acciones.

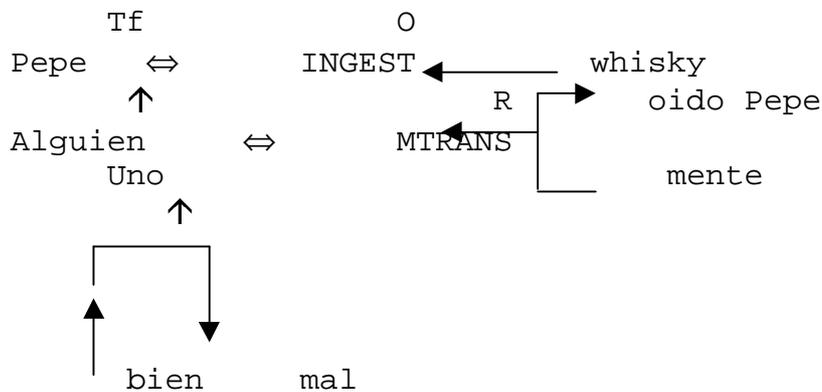
Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

*.- \uparrow : Relación de contenido, posesión
ubicación. Relación entre objetos.



Veamos un ejemplo: Pepe dejó de beber whisky porque le dijeron que beber whisky J&B se pone mal el cuerpo:



2.3.- FRAMES, ARMAZONES O MARCOS

Existe una gran evidencia de que la gente no analiza nuevas situaciones empezando desde cero y construyendo nuevas estructuras de conocimiento para describir esas situaciones. En vez de ello tiene disponibles en la memoria una colección de estructuras que representan sus experiencias anteriores con objetos, lugares, situaciones y gente. Para analizar una nueva experiencia, evocan las estructuras almacenadas apropiadas y a continuación, las llenan con los detalles del acontecimiento

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

actual. Un mecanismo general diseñado para la representación por computador de tal acontecimiento común es el **armazón**.

La palabra armazón (frame) se ha aplicado a diversas estructuras de representación, principalmente siguiendo la teoría presentada en [Minsky, 1975] Y discutida en [Kuipers, 1975].

Un frame consta de una colección de ranuras (slot) que describen el aspecto de los objetos. Estas ranuras se llenan mediante otros armazones que describen otros objetos. Cada ranura le corresponde a un atributo específico de ese objeto o acción. Asociado con cada ranura puede haber un conjunto de condiciones que deben cumplir las entidades que vayan a llenarla.

Los tipos de valores para los atributos son:

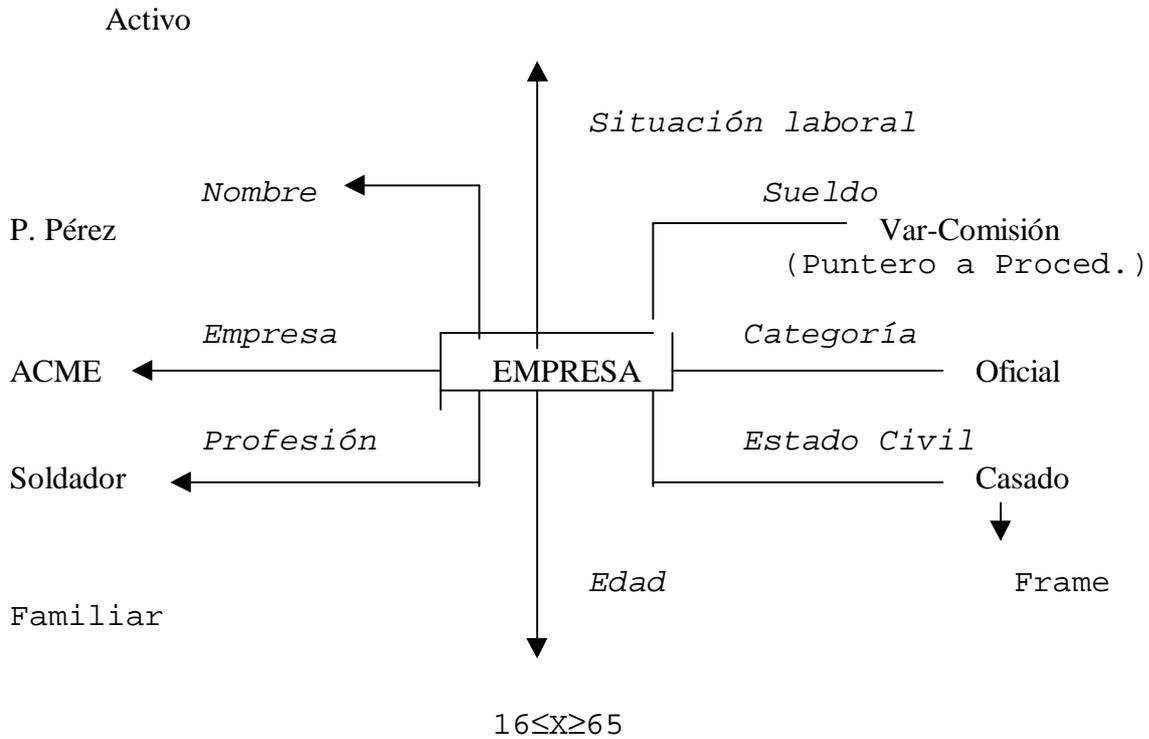
- .- Valores simples: Numéricos o simbólicos.
- .- Valores Genéricos: Existen caso en los que los valores definen la clase: **Valores definicionales**.
- .- Condiciones
- .- Valores por defecto.
- .- Procedimientos.
- .- Otro Frame.

Un Frame se puede representar mediante redes semánticas: Un nodo control asociado al frame, con arcos para cada ranura.

Veamos el siguiente ejemplo:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Otra forma de representación sería mediante listas estructuradas:

EMPLEADO

Nombre:
Empresa:
Edad:
Sueldo:--- >
Estado Civil:
Categoría:
Profesión:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

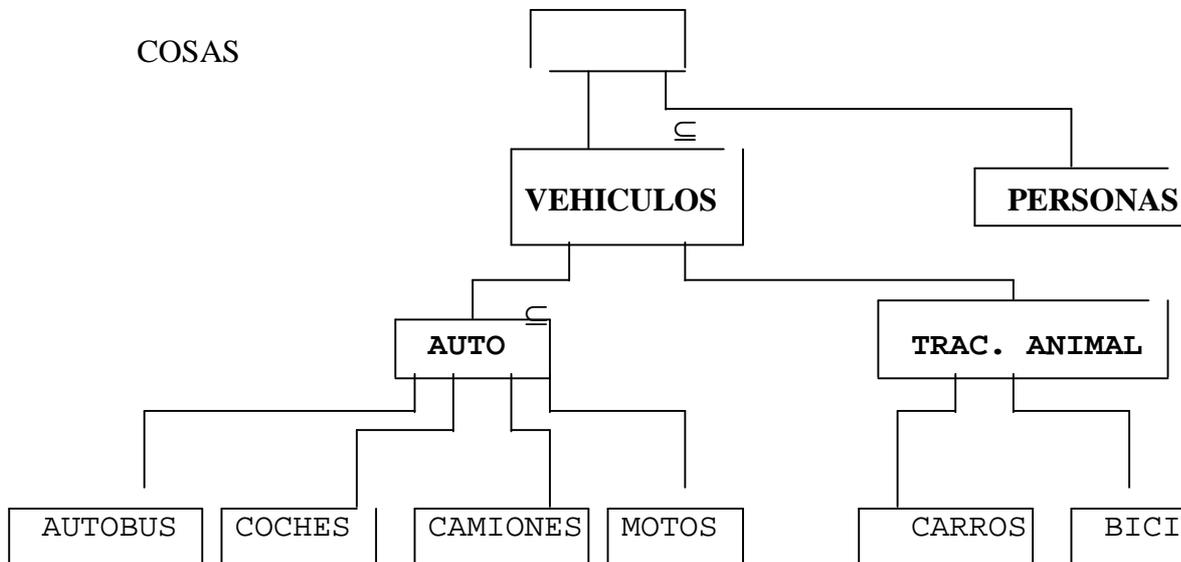
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Sistema Laboral:

Los frame se pueden combinar formando una estructura jerárquica:

COCHE	
Tipo:	Vehículo
	Automóvil
	Pasajeros
	< 2. 000 Kg
	≥ 3 Ruedas

La jerarquía asociada sería:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Si fallan algunas de las características, entonces no es un coche.

Con esto se identifica a que clase pertenece la cosa. Después se le ponen ciertas características para diferenciar los elementos de la clase, como puede ser en nuestro caso Marca, Matrícula, color.....

Se pueden poner relaciones de similitud (Motos y bici) y también relaciones de disimilitud

Utilizando los Frames, podemos:

.- Reconocer Patrones.

Para reconocer patrones, tiene que coincidir todos los valores genéricos.

Si no coincide con ningún patrón, se le asocia aquel que mejor coincida.

.- Inferencia de existencia.

La inferencia se hace igual que las redes semánticas.

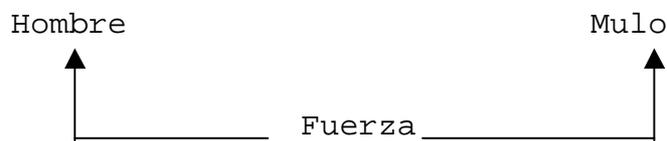
Minsky, se refirió a la inferencia de existencia. Descubrimos un objeto y lo introducimos en una clase, desde ese momento tenemos un hecho nuevo, y por tanto ya hemos inferido.

.- Inferencia por Analogía

Se usa para hacer analogía. Veámosla mejor con un ejemplo:

“Estoy hecho un mulo”

Se hace uniendo dos estereotipos, mediante el atributo en el que coincida.



.- Inferir valores por defecto.

Los armazones contienen información sobre diversos aspectos de los objetos o situaciones que describen. Esa información puede usarse como si se hubiese observado explícitamente. Así, por ejemplo, un programa con acceso a un armazón HABITACION podría inferir la existencia, por lo menos, de una puerta en la habitación, sin importar que tenga o no la evidencia sobre ese particular. Esto es posible porque el

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

armazón HABITACION contiene una descripción de una habitación e incluye el hecho de que debe haber alguna puerta.

.- Detectar errores.

Los armazones describen ocurrencias típicas de los conceptos que representa. Si una situación concreta que parece corresponder en casi todos los aspectos al armazón se aleja de él de algún modo, ese alejamiento es probable que corresponda a un Aspecto importante de la situación actual, y quizá deberíamos reaccionar ante ella. Así, si supone que una silla tiene cuatro patas y una silla concreta solo tiene tres, dicha silla podría necesitar un arreglo.

2.4. GUIONES

un guión es una estructura que describe una secuencia estereotipada de acontecimientos en un contexto particular. Un guión consiste en un conjunto de ranuras. Asociada con cada ranura puede haber cierta información sobre los tipos de valores que pueden contener, así como un valor por defecto que se usará si no se dispone de otra información. Hasta ahora, esta definición de guión parece muy similar a la que se dio para los armazones, y, a este nivel de detalle, las dos estructuras son idénticas. Pero ahora, a causa de la función especializada que debe realizar el guión, podemos hacer alguna declaración más precisa sobre sus estructuras.

Veamos un ejemplo de un guión, que en nuestro caso será el guión de un restaurante.

El ejemplo, es el de una persona que entra a un restaurante para comer.

Aquí vamos a diferenciar los distintos componentes de un guión:

1.- Condiciones de Entrada.

Condiciones que, en general, deben satisfacerse antes de que puedan ocurrir los sucesos escritos en el guión. Serán pares (Atributo, Valor) que tienen que acoplar con los hechos para que el guión se active.

En nuestro ejemplo:

- .-Tener dinero.
- .- Tener hambre.
- .- No querer ir a su casa.

2.- Condiciones de salida.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Condiciones que, en general, serán ciertas después de haber ocurrido los acontecimientos descritos en el guión. Serán los pares atributo valor, que se generan después de activar el Frame.

En nuestro ejemplo:

- .- Tener menos dinero.
- .- Tener menos hambre.

3.- Materiales.

Ranuras que representan los objetos que están involucrados en los acontecimientos descritos en el guión. La presencia de esos objetos pueden inferirse aunque no se mencionen explícitamente.

En nuestro ejemplo:

- .- Silla.
- .- Mesa.
- .- Comida.....

4.- Personajes.

Ranuras que representan las personas que están involucradas en los acontecimientos descritos en el guión. La presencia de estas personas pueden inferirse aunque no se mencionen explícitamente. Si se mencionan individuos específicos, pueden insertarse en las ranuras apropiadas.

En nuestro ejemplo:

- .- Camarero.
- .- Cocinero.
- .- Comensal.

5.- Lugar Físico.

Este guión concreto representa una variación específica de n modelo más general. Diversas ubicaciones del mismo guión compartirán muchos componentes, aunque no todos.

En nuestro ejemplo:

- .- Restaurante.

6.- Escenas

Las secuencias de acontecimientos que ocurren realmente. Los acontecimientos se representan mediante el formalismo de la dependencia conceptual.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

En nuestro ejemplo:

- .- 1^a Escena: Llegar y sentarse.
- .- 2^a Escena: Dar la Carta
- .- 3^a Escena:

Las principales utilidades de los guiones son:

- .- La utilidad de modelizar acontecimientos.
- .- Los guiones también pueden ser útiles indicando como se relacionan entre sí los acontecimientos que se mencionaron.
- .- Otro uso importante de los guiones es proporcionar una forma de construir una interpretación única y coherente a partir de una colección de observaciones.
- .- Otra forma en que es útil un guión es que centra la atención sobre acontecimientos inusuales,

3.- REPRESENTACION PROCEDURAL

Hasta este momento, hemos visto formas estáticas de representar el conocimiento. Hemos presentado diversas formas de representar hechos, y, asociados a cada uno de ellos, había un pequeño número de procedimientos que manipulaban estos hechos.

A continuación podía usarse un procedimiento, la resolución, para generar diversos hechos adicionales. Esta clase de representación del conocimiento se suele llamar declarativa. Un enfoque alternativo es expandir el papel de los procedimientos y, simultáneamente, reducir el papel jugado por los hechos estáticos. Si lo hacemos así, llegamos a lo que se conoce como representación procedural.

Este enfoque lo tomó Winograd en sus sistema SHRDLU [Winograd, 1973, 1972], un programa que conversaba en inglés acerca del mundo de los bloques sencillos.

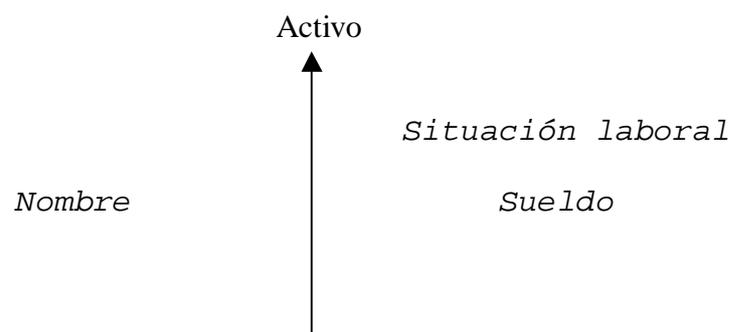
Otro modelo muy usado para la representación del conocimiento es la **Representación Dirigida a Objetos**.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

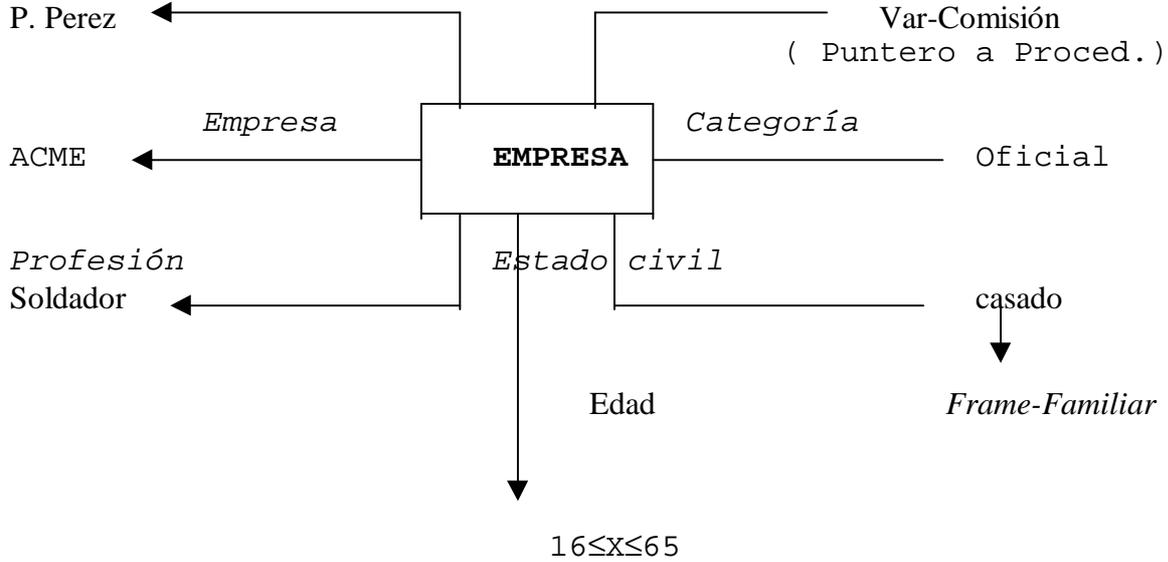
Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Otra forma de representación sería mediante listas estructuradas.

EMPLEADO
Nombre :
Empresa :
Edad :
Sueldo:--->
Estado Civil :
Categoría :
Profesión :
Sistema Laboral :

Los frame se pueden combinar formando una estructura jerárquica:

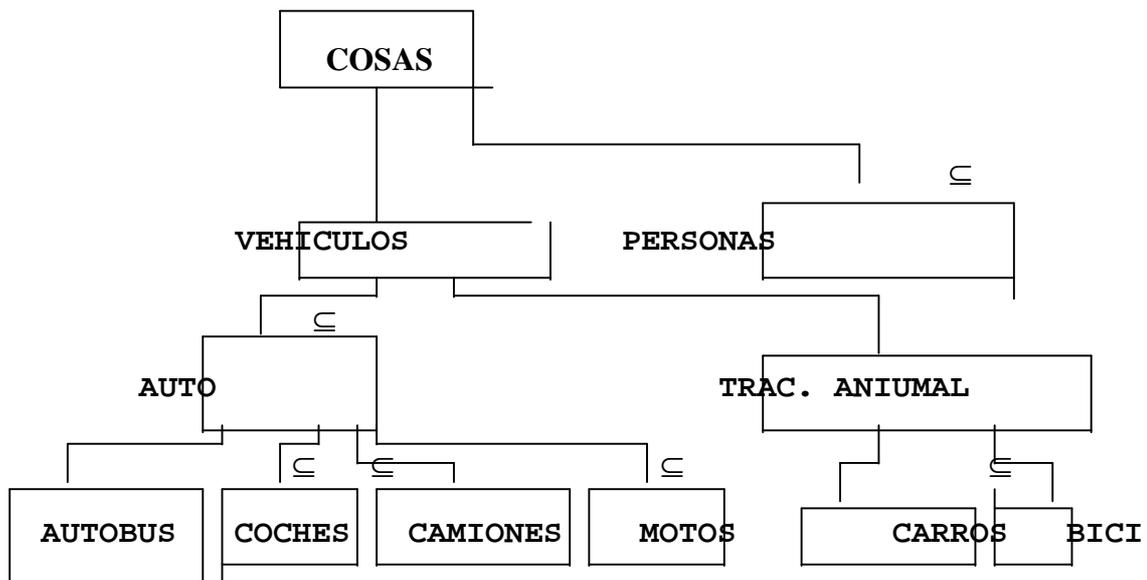
COCHE	
	Tipo: Vehículo
	Automóvil

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

	Pasajeros
<	2. 000 Kg
≥	3 Ruedas

La jerarquía asociada sería:



Si fallan algunas de las características, entonces no es un coche.

Con esto se identifica a que clase pertenece la cosa. Después se le ponen ciertas características para diferenciar los elementos de la clase, como puede ser en nuestro caso Marca, Matrícula, color.....

Se pueden poner relaciones de similitud (Motos y Bici) y también relaciones de disimilitud.

Utilizando los Frames, podemos:

.- Reconocer Patrones.

Para reconocer patrones, tiene que coincidir todos los valores genéricos.

Si no coincide con ningún patrón, se le asocia aquel que mejor coincida.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

.- Inferencia de Existencia.

La inferencia se hace igual que las redes semánticas.

Minsky se refirió a la inferencia de existencia. Descubrimos un objeto y lo introducimos en una clase, desde ese momento tenemos un hecho nuevo, y por tanto ya hemos inferido.

.- Inferencia por Analogía.

Se usa para hacer analogía. Veámosla mejor con un ejemplo:

" Estoy hecho un mulo ".

Se hace uniendo dos estereotipos, mediante el atributo en que coincida.



.- Inferir valores por defecto.

Los armazones contienen la información sobre diversos aspectos de los objetos o situaciones que describen. Esa información puede usarse como si se hubiese observado explícitamente. Así, por ejemplo, un programa con acceso a un armazón HABITACION podría inferir la existencia, por lo menos, de una puerta en la habitación, sin importar que tenga o no la evidencia sobre ese particular. Esto es posible porque el armazón HABITACION contiene una descripción de una habitación e incluye el hecho de que debe haber alguna puerta.

.- Detectar errores.-

Los armazones describen ocurrencias típicas de los conceptos que representa. Si una situación concreta que parece corresponder en casi todos los aspectos al armazón se aleja de él de algún modo, ese alejamiento es probable que corresponda a un aspecto importante de la situación actual, y quizás deberíamos reaccionar ante ella. Así, si supone que una silla tiene cuatro patas y una silla concreta sólo tiene tres, dicha silla podría necesitar un arreglo.

2.4.- GUIONES

Un guión es una estructura que describe una secuencia estereotipada de acontecimientos en un contexto particular. Un guión consiste en un conjunto de ranuras. Asociada con cada ranura puede haber cierta información sobre los tipos de valores que pueden contener, así como un valor por defecto que

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

se usará si no se dispone de otra información. Hasta ahora, esta definición de guión parece muy similar a la que se dió para los armazones, y a este nivel de detalle, las dos estructuras son idénticas. Pero ahora, a causa de la función especializada que debe realizar el guión, podemos hacer alguna declaración más precisa sobre sus estructuras.

Veamos un ejemplo de un guión, que en nuestro caso será el guión de un restaurante.

El ejemplo, es el de una persona que entra a un restaurante para comer.

Aquí vamos a diferenciar los distintos componentes de un guión:

1.- Condiciones de entrada.

Condiciones que, en general, den satisfacerse antes de que puedan ocurrir los sucesos escritos en el guión. Serán pares (Atributo, Valor) que tiene que acoplar con los hechos para que el guión se active.

En nuestro ejemplo:

- .- Tener dinero
- .- Tener hambre
- .- No querer ir a su casa.

2.- Condiciones de Salida.

Condiciones que, en general, serán ciertas después de haber ocurrido los acontecimientos descritos en el guión. Serán los pares atributo, valor, que se generan después de activar el Frame.

En nuestro ejemplo:

- .- Tener menos Dinero.
- .- Tener menos hambre.

3.- Materiales

Ranuras que representan los objetos que están involucrados en los acontecimientos descritos en el guión. La presencia de esos objetos pueden inferirse aunque no se mencionen explícitamente.

En nuestro ejemplo:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- .- Silla
- .- Mesa
- .- Comida....

4.- Personajes

Ranuras que representan las personas que están involucradas en los acontecimientos descritos en el guión. La presencia de estas personas pueden inferirse aunque no se mencionen explícitamente. Si se mencionan individuos específicos, pueden insertarse en las ranuras apropiadas.

En nuestro ejemplo:

- .- Camarero.
- .- Cocinero.
- .- Comensal.

5.- Lugar físico.-

Este guión concreto representa una variación específica de un modelo más general. Diversas ubicaciones del mismo guión compartirán muchos componentes, aunque no todos.

En nuestro ejemplo:

- .- Restaurante.

6.-Escenas

Las secuencias de acontecimientos que ocurren realmente. Los acontecimientos se representan mediante el formalismo de la dependencia conceptual.

En nuestro ejemplo:

- .- 1ª Escena: Llegar y sentarse.
- .- 2ª Escena: Dar la carta
- .-3ª Escena:

Las principales utilidades de los guiones son:

- .- La utilidad de modelizar acontecimientos.
- .- Los guiones también pueden ser útiles indicando cómo se relacionan entre sí los acontecimientos que se mencionaron.
- .-Otro uso importante de los guiones es proporcionar una forma de construir una interpretación única y coherente a partir de una colección de observaciones.
- .- Otra forma en que es útil es que centra la atención sobre acontecimientos inusuales.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.- REPRESENTACION PROCEDURAL.

Hasta este momento, hemos visto formas estáticas de representar el conocimiento. Hemos presentado diversas formas de representar hechos, y, asociados a cada uno de ellos, había un pequeño número de procedimientos que manipulaban estos hechos.

A continuación podía usarse un procedimiento, la resolución, para generar diversos hechos adicionales. Esta clase de representación del conocimiento se suele llamar declarativa. Un enfoque alternativo es expandir el papel de los procedimientos y, simultáneamente, reducir el papel jugado por los hechos estáticos. Si los hacemos así, llegamos a lo que se conoce como representación procedural.

Este enfoque lo tomó Winograd en su sistema SHRDLU [Winograd, 1973, 1972], un programa que conversaba en inglés acerca del mundo de los bloques sencillos.

Otro modelo muy usado para la representación del conocimiento es la **Representación Dirigida a Objetos**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 5: TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LOS SISTEMAS EXPERTOS.

1.- El problema de la incertidumbre en la ingeniería del conocimiento.

- 1.1.- Introducción
- 1.2.- Medidas de incertidumbre

2.- Modelos Probabilísticos

- 2.1.- Introducción
- 2.2.- Métodos de Medida de la Probabilidad.
- 2.3.- Problemas que presenta la Probabilidad.
- 2.4.- Definición de algunos conceptos importantes.

3.- Modelos no Prbabilísticos.

- 3.1.- Introducción,
- 3.2.- Teoría de la evidencia.
- 3.3.- Inferno.

4.- Representación de la Incertidumbre mediante conjuntos.

- 4.1.- Teoría de Estudio de Incidencias (Bundy)
- 4.2.- Teoría de Subconjuntos Difusos.
- 4.3.- Variables lingüísticas.
- 4.4.- Sistemas de control.
- 4.5.- Teoría de la Probabilidad.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 5

TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LOS SISTEMAS EXPERTOS.

1.- El problema de la Incertidumbre en la Ingeniería del conocimiento.

1.- Introducción.

En los temas vistos anteriormente se consideraban métodos de razonamiento bajo condiciones de certeza, completitud, inmutables y de hechos consistentes. Implícitamente se asumía que con un conocimiento seguro se podía deducir conclusiones verdaderas. Esta forma de razonamiento es importante, pero sufre limitaciones:

1.- No es posible describir muchos conceptos del mundo real; esto es el método es limitado en su capacidad de expresión.

2.- No hay forma de expresar la incertidumbre e imprecisión, conocimiento vago o hipotético, solamente la certeza o falsedad de dichas observaciones.,

3.- Los métodos de inferencia conocidos, son aprovechables pero ineficientes.

4.- No hay forma de producir nuevo conocimiento sobre el mundo real. Solo es posible añadir aquello que es derivable de los axiomas y teoremas de la base de conocimiento.

Por el contra, el ser inteligente está continuamente tomando decisiones bajo condiciones de **Incetidumbre**.

La incertidumbre puede surgir bajo distintas formas. A veces, la información que poseemos puede ser incompleta o rápidamente cambiante.

Primeramente la incertidumbre se va a representar mediante la probabilidad, pero como posee problemas de tipo formal para describir todos los tipos de incertidumbre, se van a utilizar otros modelos

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las lógicas estudiadas hasta ahora, son conocidas como **Lógicas monótonas**, ya que las conclusiones derivadas usando dichas lógicas sin deducciones válidas, y ellas permanecen así. Añadiendo nuevos axiomas incrementamos la cantidad de conocimiento contenido en la base de conocimiento. Por lo tanto el conjunto de hechos e inferencias en tales sistemas pueden solamente crecer; ese conjunto no puede ser reducido.

La forma de razonamiento bajo incertidumbre, es **no monótona**. Nuevos hechos que han llegado a conocerse, han contradicho e invalidado el anterior conocimiento. Las dependencias del conocimiento antiguo requiere que se retracte este conocimiento y aquel con el que está relacionado. La retractación, guía a una disminución o crecimiento monótono del conocimiento, aveces.

En este tema, discutiremos los métodos con los que exactamente representamos y tratamos las diferentes formas de inconsistencia, incertidumbre, posibilidad y demás.

2.- Medidas de Incertidumbre.

Para que una medida sea buena debe cumplir:

- 1.- Que sea medible, y que existan métodos para medirla.
- 2.- Debe de haber métodos para combinar dicha medida:

$$\begin{array}{l} m(s1) \\ m(s2) \end{array} \left[\begin{array}{l} m(s1 \sqcup s2) \\ m(s1 \cap s2) \\ m(s1 / s2) \end{array} \right]$$

- 3.- Se debe de poder propagar la incertidumbre

Una buena medida debe cumplir las tres condiciones.

2.- Modelos probabilísticos.

2.1.- Introducción.

La **Probabilidad** se define como una medida de mi grado de creencia, sobre el cumplimiento o no de un fenómeno incierto.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La probabilidad no mide la oscuridad de un suceso, sin mi grado de creencia acerca de un suceso, el cual debe estar perfectamente definido.

La probabilidad fue el primer método de medida que se utilizó y por tanto el muy conocido y muy avanzado, pero tiene algunos defectos.

2.2.- Métodos de medida de la probabilidad.

La probabilidad se define como el número de casos favorables dividido por el número de casos posibles.

Nos puede interesar medir, además de lo indicado arriba las siguientes probabilidades:

$$\frac{P(A \cap B)}{P(A) \cdot P(B)}$$

TEOREMA DE LA PROBABILIDAD TOTAL.

Tenemos un conjunto de hipótesis H_1, H_2, \dots, H_n sobre E.
Entonces se define $P(E)$ como

$$P(E) = P(E/H_1) \cdot P(H_1) + \dots + P(E/H_n) \cdot P(H_n)$$

TEOREMA DE BAYER

Tenemos un conjunto de hipótesis H_1, H_2, \dots, H_n sobre E.
Entonces se define $P(H_j / E)$ como

$$P(H_j / E) = [P(E/H_j) \cdot P(H_j)] / [P(E)]$$

Sirve para medir fenómenos inciertos, a priori, estando bien definidos.

Presenta los siguientes inconvenientes:

- 1.- Está muy ligado al espacio de sucesos.
- 2.- No trabaja bien con la ignorancia.

PRINCIPIO DE LA RAZON INSUFICIENTE

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Si $\lambda \gg 1$ significa que la probabilidad de que la evidencia proceda de H es muy grande. Llegó al conocer el cociente, en estos casos podemos deducir que se cumple H. También se llama **Cociente o Razón de Suficiente Lógica** (λ) y se denota por L_s .

En esta fórmula la probabilidad de E ha desaparecido. Esto indica que no estamos calculando su probabilidad y por eso se utiliza cuando E ya se ha observado (ya sea T o F).

Consideremos ahora que E es falso. Podemos encontrar una fórmula similar a la anterior:

$$P(\bar{E}) \frac{P(H/E)}{P(\bar{E})} = [P(\bar{E}/H) P(H)] / [P(\bar{E}/\bar{H}) P(\bar{H})]$$

Y obtenemos:

$$O(H/\bar{E}) = \lambda' * O(H)$$

Donde

$$\lambda' = P(\bar{E}/H) / P(\bar{E}/\bar{H})$$

Si λ' es muy pequeño, desde el punto de vista E, observar que E es falso nos lleva a concluir que se da H. Mide en cuanto necesario es E.

Este λ' se conoce como **Factor de Necesidad Lógica** y se denota por L_n .

Si λ' es muy pequeño es porque la probabilidad de no observar E dado H es menor que la de no observar E frente a no H. Si observamos E tenemos que descartar H y observando \bar{E} podemos afirmar H.

Podemos comprobar que existe una relación entre λ y λ' . En este caso también desaparece la probabilidad del complemento.

Estas probabilidades han sido utilizadas en S.E..Uno de ellos es PROSPECTOR, y otro es AL/X

Es difícil conocer frente al experto cuales son las probabilidades condicionadas, en un caso particular.

Ejemplo: Queremos actualizar la probabilidad $P(H/E')$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\begin{aligned} P(H/E') &= P(H/E) * P(E/E') + P(H/\bar{E}) * P(\bar{E}/E') = \\ &= P(H/E) * P(E/E') + P(H/\bar{E}) * [1 - P(E/E')] = \\ &= P(H/\bar{E}) + [P(H/E) - P(H/\bar{E})] * P(E/\bar{E}') \end{aligned}$$

Veámoslo gráficamente:

Generalmente los expertos suelen dar a $P(H)$ un valor más Alto del que le corresponde.

$$\begin{aligned} \text{Si } P(E/E') &= 1 : \Rightarrow \\ P(H/E') &= P(H/E) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Si } P(E/E') &= 0 : \Rightarrow \\ P(H/E') &= P(H/\bar{E}) \end{aligned}$$

Para solucionar el problema de las dependencias entre probabilidades de las variables, surge los **Grafos de Dependencias** (J. Pearl). De esta forma si se tiene que actualizar una probabilidad no se comete un destroz dentro del grafo.

MYCIN utilizaba un sistema alternativo consistente en medir los factores de certeza. En la versión de MYCIN se comprobó que cuando un experto aplicaba una regla normalmente no estaba seguro, lo que le añadirán un factor de certeza. Sin embargo si estaban dispuestos a calcular en cuanto aumentaba su creencia sobre B al observar A.

Bajo esta creencia surge la **Teoría de los Factores de Certeza** para contemplar las observaciones que no son absolutas.

Dados $E \rightarrow H$

$C(H/E)$ = Proporción del aumento de certeza sobre H al observar E

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Si $C(H/E) = 1 \Rightarrow$ Al observar E, nos creemos que se cumple H sin ninguna restricción.

Si $C(H/E) = -1 \Rightarrow$ Al observar E, sea cual sea nuestro conocimiento en ese momento, descartamos H.

Si $C(H/E) = 0 \Rightarrow$ Al observar E, no condiciona nada con respecto a H.

Cuando una evidencia sostiene una hipótesis, su contraria, rechaza la misma hipótesis. Esto hace que aunque manejamos una sola, en la práctica todas probabilidades se duplican.

Los valores de $C(H/E)$ entre $[-1.....0]$ y $[0.....1]$ solo aumentan o disminuyen nuestra certeza en ese momento sobre H.

Según esto, también podemos indicar la certeza sobre E y H.

	0 :	No sabemos
C(E)	1 :	Cierto
C(H)	-1 :	Falso

Los factores de certeza no son medidas absolutas de creencia, sino que son relativas.

Los procesos para manejar factores de certeza son la combinación y la propagación de ellos. Vamos a ver como se realiza este proceso:

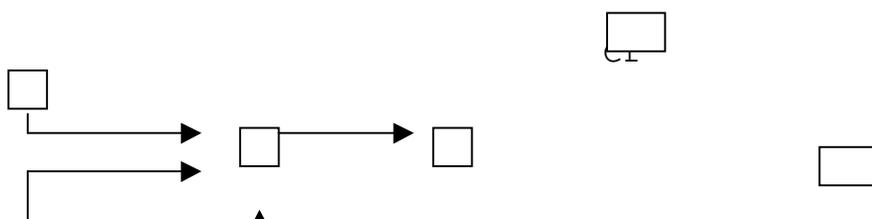
- A cada suceso o evidencia se le asigna un valor

$C(S) \in [-1, 1]$ En cuanto me creo el suceso

$C_f(E \rightarrow H) \in [-1, 1]$ En cuanto modifica mi creencia
Del suceso.

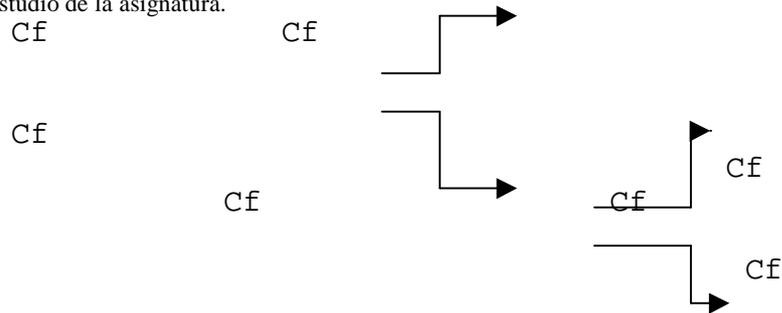
2.5.- Combinación y propagación

Sea el siguiente grafo de dependencias:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



Cada arco tiene un factor de certeza, en cuanto aumenta mi creencia sobre una hipótesis al observar la evidencia. Aquí puedo plantear preguntas como:

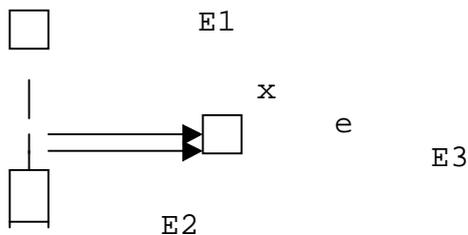
Si es la relación entre $E1 \rightarrow E2 \rightarrow E3$ entonces:

- ¿Cuál es la que hay entre $E1 \rightarrow E3$?
- ¿En cuanto se propaga un E_i ?

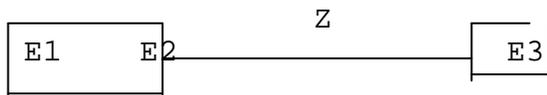
Este esquema de combinación-propagación se obtiene por combinación propagación de : Estructuras serie y estructuras paralelas.

ESTRUCTURA PARALELA

Si conocemos



Cuanto vale



La fórmula para resolver esto es la siguiente:

$$Z = \begin{cases} X + Y - X * Y & \text{si } X, Y \in [0, 1] \\ X * Y & \text{si } X * Y \in [0, -1] \end{cases} / [1 - \text{Min} [|X|, |Y|]]$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$X + Y + X * Y \quad \text{si} \\ X, Y \in [-1, 0]$$

La idea es:

Si las dos evidencias refuerzan la hipótesis, la duda también la refuerza.

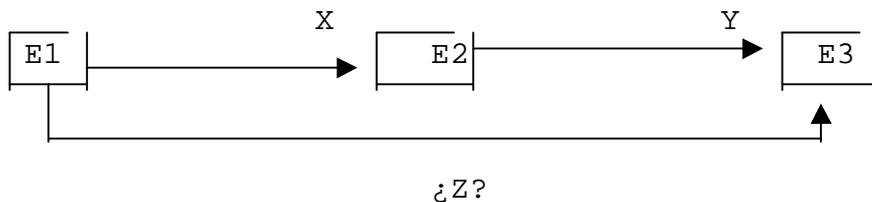
Si las dos rechazan la hipótesis, entonces la suma también la rechaza.

Si una la rechaza y otra la apoya, opto por crearme la de mayor valor, algo más que la mera diferencia entre ambas.

Un caso en que esto no fuera, es cuando valen 1 y -1. En este caso se toma el valor indecible.

ESTRUCTURA SERIE

Si conocemos

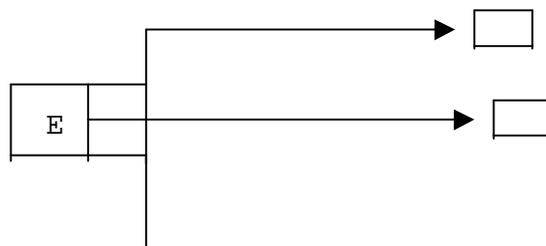


Cuanto vale Z.

Veamos la siguiente fórmula:

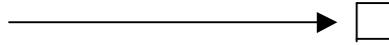
$$Z = \begin{cases} X * Y & \text{si } X \geq 0 \\ -X * Y' & \text{si } X < 0 \end{cases} \quad Y' = \text{Cf} (E3, \neg E2)$$

Según esto, el primer grafo lo podemos poner como:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



2.- Cálculo del Valor de la Evidencia

Veamos a continuación, como se calcula el valor de la evidencia:

Si tengo

$C(E1)$

$C(E2)$

$C(E3)$

¿Cómo calculamos las evidencias deducibles?

Tendrá dos sucesos:

1.- Evidencia independiente: La observamos y le asignamos un valor de certeza empírico.

2.- Evidencia Dependiente: No son directamente observables, por lo que en la línea de salida no les puedo asignar valor, y las tasas de los arcos son de actualización no de asignación.

Para poder aplicar las evidencias dependientes, le asignamos el valor 0 y luego las actualizamos.

También podemos partir de la hipótesis de que toda evidencia tiene el valor de 0 y este valor se puede cambiar por observación o por actualización tras deducción o propagación.

Puede ocurrir que una evidencia está compuesta de subevidencias. En este caso, no tenemos que confundir estas subevidencias con n un esquema paralelo. Para calcular el valor de una evidencia a partir de unas subevidencia de, utilizaremos el mínimo para calcular la intersección de las subevidencias, el máximo para la unión de las subevidencias, y (1-) para la negación de una subevidencia.

EJEMPLO:

Supongamos una evidencia simple que sostiene a una hipótesis simple:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Conozco

.- $C(E)$ por deducción

.- $C(H)$ por deducción, observación o valor 0

La propagación se realiza así:

Si $C(E) = 1$:

$$.- C(H/E) = C(H) + [1 - C(H)] * [Cf(E,H)]$$

$$C(H) \geq 0$$

$$Cf(E,H) \geq 0$$

$$.- C(H/E) = C(H) + [1 + C(H)] * [Cf(E,H)]$$

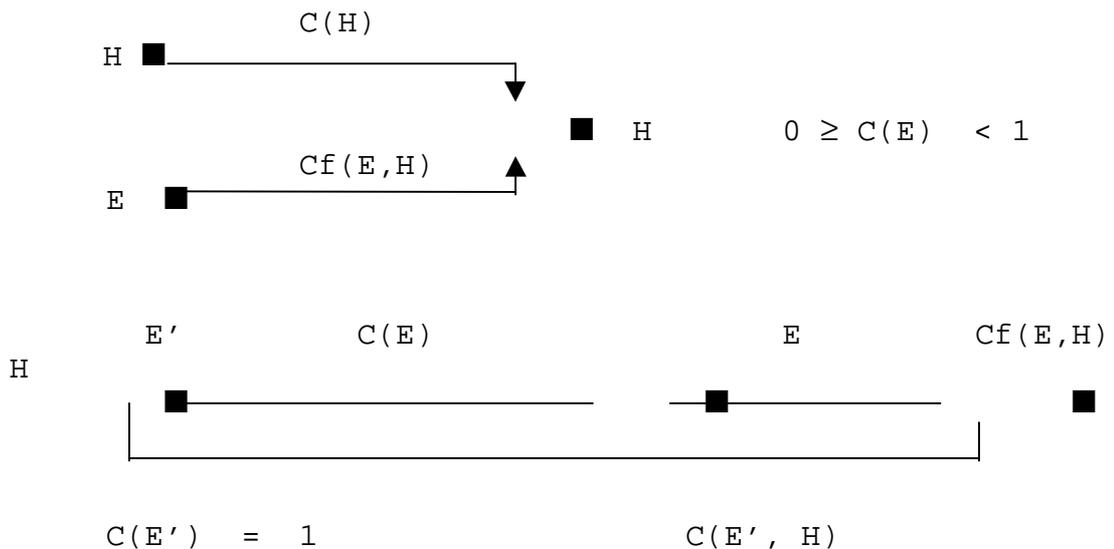
$$C(H) \geq 0$$

$$Cf(E,H) \geq 0$$

$$.- C(H/E) = [C(H) + Cf(E,H)] / [1 - \text{Min}(|C(H)|, |Cf(E,H)|)]$$

Cf y $C(H)$ distinto signo

La idea anterior sería:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.- MODELOS NO PROBABILISTICOS.

3.1.- Introducción

Los modelos no probabilísticos, se caracterizan por dar la medida de la incertidumbre mediante dos números; cota superior y cota inferior.

3.2.- Teoría de la Evidencia.

Esta teoría fue introducida por Demspster y desarrollada posteriormente por Shefer. Está basada en la idea de colocar un número entre cero y uno para indicar el grado de creencia o evidencia para una reposición. La teoría también incluye razonamiento basado en la regla de combinación de grados de creencias basadas en diferentes evidencias.

El axioma de adición de la teoría de probabilidades da como resultado para una proposición $P(A) + P(\bar{A}) = 1$ para cualquier proposición A.

Supongamos que tenemos una variable q

El Dominio donde toma valores:

Θ : Marco de discernimiento.

Proposición: $q \in A \subseteq \Theta \iff A \subseteq \Theta$

Esta teoría supone que no hay certeza sobre el valor verdadero de la variable y que la información disponible acerca de la variable viene representada por la **Asignación Básica de Probabilidad** que es una aplicación.

m: $P(\Theta) \rightarrow [0, 1]$

2^Θ = número de partes de Θ

donde :

$m(\emptyset) = 0$ (Conjunto vacío = creencia 0)

$\sum_{A \subseteq \Theta} m = 1$ (Creencia total = 1)

Veamos un ejemplo:

Sea una urna, con la siguiente distribución de bolas:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

10 bolas Blancas
20 bolas Negras
10 bolas Rojas
60 bolas Rojas o Blancas

$$\Theta = \{ B, R, N \}$$

$$q = \text{color}$$

$$q \in \{0\}, \{R\}, \{B\}, \{N\}, \{R,B\}, \{N,R\}, \{B,N\}, \{\}$$

— Sucesos asociados al marco de discernimiento.

$$\begin{aligned} m\{B\} &= 0.10 \\ m\{N\} &= 0.20 \\ m\{R\} &= 0.10 \\ m\{R,B\} &= 0.6 \\ m(0) &= 0 \end{aligned}$$

$m(A)$ significa el conocimiento más específico que nos da la información disponible sobre el conjunto, y se denomina **Número básico de Probabilidades** de A

Con este modelo se puede representar:

- Seguridad
 $m(a) = 1$
 $m(b) = 0 \quad B \neq a$

- Ignorancia

$$\begin{aligned} m(\Theta) &= 1 \quad (\text{m de todos los valores}) \\ m(A) &= 0 \quad (\text{m de un valor concreto}) \end{aligned}$$

Dado m una asignación básica de probabilidad. Una función es denominada *función decreencia libre* θ

$$\text{Bel} : P(\Theta) \rightarrow [0, 1]$$

si y solo sí

$$\text{Bel}(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B). \quad (\text{Nos da la creencia mínima})$$

En nuestro ejemplo:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\text{Bel}(\{R, B, \}) = 0.6 + 0.1 + 0.1 + = 0.8$$

La función de creencia cumple que

- 1.- $\text{Bel}(\emptyset) = 0$
- 2.- $\text{Bel}(\Theta) = 1$
- 3.- $\text{Bel}(A) + \text{Bel}(\bar{A}) \leq 1$

La *Función de plausibilidad* se define como:

$$\text{Pl}(A) = 1 - \text{Bel}(\bar{A})$$

0 (lo más que me puedo creer que ocurra A)

$$\text{Pl}(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B)$$

La función de plausabilidad cumple que

- 1.- $\text{Pl}(\emptyset) = 0$
- 2.- $\text{Pl}(\Theta) = 1$
- 3.- $\text{Pl}(A) + \text{Pl}(\bar{A}) \geq 1$
- 4.- $\text{Bel}(A) \leq \text{Pl}(A) \quad \forall A$

La incertidumbre con respecto a un suceso se mide, en la teoría de la evidencia, con el par de valores (Bel, Pl) del suceso. Se pueden considerar estos valores como la probabilidad inferior y la probabilidad superior de que ocurra el suceso.

Un subconjunto A de un marco de discernimiento Θ es denominado *elemento focal de una función de creencia sobre Θ* si y solo si $m(A) \neq 0$, donde m es la asignación básica de probabilidad asociada con Bel.

La unión de todos los elementos focales de una función de creencia se dice que es su núcleo.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Veamos un ejemplo:

Supongamos que Θ es el siguiente conjunto:

$$\{ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \}$$

Supongamos la asignación básica de probabilidad m dada por:

$$\begin{aligned} m (\{ X_1, X_2, X_3 \}) &= 1/2 \\ m (\{ X_1, X_2 \}) &= 1/4 \\ m (\{ X_2, X_4 \}) &= 1/4 \end{aligned}$$

Y $m(A) = 0$ para todos los otros conjuntos $A \subseteq \Theta$.

Las funciones de creencia Bel sobre Θ , asociada con m, son definidas por:

$$\begin{aligned} \text{Bel} (\{ x_1, x_2 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_3 \}) &= 3/4 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_3, x_4 \}) &= 1 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \}) &= 1 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_3, x_5 \}) &= 3/4 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_4 \}) &= 1/2 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_4, x_5 \}) &= 1/2 \\ \text{Bel} (\{ x_1, x_2, x_5 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_3, x_4 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_3, x_4, x_5 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_4 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ X_2, X_4, X_5 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_3, x_4 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_3, x_4, x_5 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_4 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (\{ x_2, x_4, x_5 \}) &= 1/4 \\ \text{Bel} (A) &= 0 \text{ para todos los otros } A \subseteq \Theta \end{aligned}$$

La función de plausibilidad Pl sobre θ , asociada como m, es definida por

$$Pl (\theta) = 0$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\begin{aligned}
 Pl (\{ x_1 \}) &= 3/4 \\
 Pl (\{ x_1, x_3 \}) &= 3/4 \\
 Pl (\{ x_1, x_3, x_5 \}) &= 3/4 \\
 Pl (\{ x_1, x_5 \}) &= 3/4 \\
 Pl (\{ x_3 \}) &= 1/2 \\
 Pl (\{ x_3, x_4 \}) &= 3/4 \\
 Pl (\{ x_3, x_4, x_5 \}) &= 3/4 \\
 Pl (\{ x_3, x_5 \}) &= 1/2 \\
 Pl (\{ x_4, x_5 \}) &= 1/4 \\
 Pl (\{ x_5 \}) &= 0
 \end{aligned}$$

$$Pl (A) = 1 \text{ para todos los otros } A \subseteq \Theta$$

Los elementos focales de Bel son $\{ x_1, x_2 \}$, $\{ x_1, x_2, x_3 \}$, $\{ x_2, x_4 \}$. El núcleo de Bel es $\{ x_1, x_2, x_3, x_4 \}$.

La incertidumbre con respecto a un suceso se mide en la teoría de la evidencia, con el par de valores (Bel, Pl) del suceso. Se pueden considerar estos valores como la probabilidad inferior y la probabilidad superior de que ocurra el suceso.

Se puede demostrar que si los elementos focales de las funciones de creencia se reducen a puntos, las medidas que se obtienen son probabilidades. Sería:

$$\begin{aligned}
 Prob (A) &= Bel (A) = \sum_{B \subseteq A} m (B) \\
 m (x) &= \sum_{x \in A}
 \end{aligned}$$

$$Prob (A) = Pl (A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m (B) = \sum_{x \in A} m (x)$$

Si tenemos dos elementos focales disjuntos $A_1 \cap A_2 = \emptyset$, existirá una inconsistencia en la fuente de la información porque puede caer tanto en A_1 como en A_2 . Se habla de *fuentes inconsistentes* cuando los conjuntos focales son disjuntos dos a dos, o más exageradamente, cuando los conjuntos focales constituyen una partición. La probabilidad es fuertemente inconsistente pero precisa.

La teoría de la evidencia es una buena medida de la incertidumbre, pero tiene dos agujeros importantes: la combinación de evidencias y la propagación de evidencias.

Veamos la combinación de las evidencias:

Supongamos que disponemos de dos asignaciones básicas de probabilidad m_1, m_2 , que están asociadas a dos conjuntos de

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

creencias independientes. Vamos a ver como se podrían combinar para obtener una asignación básica de probabilidad m .

El procedimiento de combinación de evidencias viene dado por la *regla de Dempster*: supongamos que:

m_1 tiene como elementos focales a A_1, A_2, \dots, A_n

m_2 tiene como elementos focales a B_1, B_2, \dots

B_m .

Supongamos que construimos todas las intersecciones $A_i \cap B_j$, ya que solo para estas intersecciones dan información conjunta m_1, m_2 . Entonces :

*.- Si $A_i \cap B_j = \Theta$, la cantidad de información contradictoria que dan estas dos asignaciones de probabilidad se calcula con la fórmula:

$$\sum_{A_i \cap B_j = \Theta} m_1(A_i) m_2(B_j) = 1 - K$$

*.- Si $A_i \cap B_j = C \neq \Theta$, con $C \in \Theta$, el grado de coherencia de las dos informaciones se puede obtener mediante:

$$\sum_{A_i \cap B_j = C} m_1(A_i) m_2(B_j) = k$$

La Regla de Dempster para la combinación e evidencias sería:

$$m = m_1 * m_2 : P(\Theta) \rightarrow [0, 1]$$

$$m(c) = \left[\begin{array}{l} \sum_{A_i \cap B_j = C} m_1(A_i) m_2(B_j) / K \\ 0 \quad \text{en otro caso} \end{array} \right]$$

Esta regla da muchos problemas, ya que prima los valores grandes de evidencia conjunta y castiga los valores pequeños para eliminar el ruido. Se han desarrollado formas alternativas a la regla de Dempster basadas en la probabilidad.

Veamos un ejemplo

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Vamos a ver el problema de los bebedores de agua, vino y cerveza. Tenemos una fuente que nos dice que:

$$m_1(a) = 0,3 \quad m_1(c) = 0,3 \quad m_1(v) = 0,4$$

Otra fuente de información nos dice que:

$$m_2(a) = 0,3 \quad m_2(c) = 0,3 \quad m_2(v) = 0,4$$

Como ambas fuentes de información coinciden, parece que ambas son válidas. Calculemos ahora la combinación de ambas $m = m_1 m_2$. Entre los elementos focales, tienen intersección vacía los siguientes: $\{a\} \cap \{c\}$, $\{a\} \cap \{v\}$ y $\{c\} \cap \{v\}$. Teniendo en cuenta esto, la medida de incoherencia sería:

$$1-k = 2x(0,3x0,3) + 2x(0,3x0,4) + 2x(0,4x0,3) = 0,66$$

Como podemos observar, da un valor bastante incoherente. Dempster se defiende ante esto diciendo que la fuente es inconsistente internamente ya que los elementos focales son disjuntos dos a dos.

La combinación de ambas fuentes daría:

$$m(a) = 0,26 \quad m(c) = 0,26 \quad m(v) = 0,48$$

Como vemos, aunque las dos fuentes de información son iguales, la fuente resultante de la combinación de ellas prima los valores grandes de evidencia, y castiga los valores pequeños.

Otros problemas de la teoría de la evidencia de Dempster Shafer es la forma de calcular los valores de m y Bel . Para obtenerlo, se recurriría a los expertos si esto fuese posible.

3.3.- Inferno.

El sistema **Inferno** fue propuesto por Quinlan (1983) y puede verse como una arquitectura n0-directa, donde la información puede propagarse en "todas direcciones": Como en la mayoría de S.E. es posible razonar unas conclusiones partiendo de unas observaciones. Además, el sistema puede razonar hacia atrás partiendo de una hipotética situación hasta predecir las observaciones necesarias.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Básicamente la estructura de Inferno es probabilística. No obstante no realiza suposiciones sobre la unión de las distribuciones de probabilidad de las piezas del conocimiento. Por tanto, la corrección y validación de las inferencias puede ser garantizada. En ausencia de suposiciones las inferencias pueden ser débiles. Si hubiera más información disponible podrían reforzarse. A causa de este modelo conservativo, Inferno también se llama " una aproximación prudente a la inferencia incierta".

En el caso de que información inconsistente se meta en el sistema, el usuario es informado. Además Inferno puede realizar sugerencias sobre cambios de la información para hacerla consistente.

Las cuatro tareas del sistema Inferno de Quinlan son las siguientes:

- Los sistemas generales para inferencia incierta son mejores sin suposiciones tales como la independencia condicional en la cual la validación universal es sospechosa.
- Por otro lado, debe ser posible afirmar que grupos particulares de proposiciones tienen relaciones tales como independencia.
- No debe haber restricciones en la dirección del flujo de la información en la red.
- La consistencia de los datos debe ser chequeada y el sistema debe ser capaz de aconsejar sobre métodos alternativos de rectificación de inconsistencias.

Como primera caracterización, el modelo de inferencia de Quinlan está basado sobre propagación de límites: bajo la suposición de que la mayoría de las correlaciones son desconocidas, las medidas de certidumbre se combinan bajo dos suposiciones extremas:

- que las componentes tienen una correlación positiva alta.
- que tienen una correlación negativa alta.

Trazando las inferencias llegamos a límites inferiores y superiores, los cuales se introducen como entradas del siguiente cálculo,. Consecuentemente, esto produce un nuevo límite también sobre la certidumbre de las conclusiones.

4.- Representación de la Incertidumbre Mediante Conjuntos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

4.1.- Teoría de Estudio de Incidencias (Bundy)

Es un método más cómodo para calcular la probabilidad de un suceso. La idea de Bundy es: en principio la teoría de la probabilidad viene:

$$\Theta \quad r \in \Theta \quad p(r) \quad A \subset \Theta \quad \text{Prob}(A) = \sum_{X \in A} \text{Pr}(X)$$

Esto es muy difícil de usar, por lo que se buscan relaciones funcionales para poder calcular la probabilidad de un conjunto de una función de conjuntos más simples:

$$\text{Prob}(A) = 1 - \text{Prob}(\neg A)$$

$$\text{Prob}(A \cup B) = \text{Prob}(A) + \text{Prob}(B) - \text{Prob}(A \cap B)$$

pero es difícil calcular $\text{Prob}(A \cap B)$ cuando A y B no son independientes.

Todo esto complica el manejo funcional de la probabilidad.

La idea de Bunddy es dar un procedimiento automático para calcular $\text{Prob}(A) = \sum_{X \in A} \text{Prob}(X)$, de forma que nos sea más simplificado.

Veámoslo:

Partimos de Θ , por cada proposición A, le llamo **Incendencia** de A $i(A)$, el conjunto de elementos de Θ para los cuales la proposición es verdadera.

$$i(A) = \{ r \in \Theta \mid A(r) = \text{Verdadera} \}$$

Las normas que rigen su funcionamiento son:

$$\begin{aligned} \cdot - i(T) &= \Theta \\ \cdot - i(F) &= \emptyset \\ \cdot - i(A \cup B) &= i(A) \cup i(B) \\ \cdot - i(A \cap B) &= i(A) \cap i(B) \\ \cdot - i(\neg A) &= \Theta - i(A) \end{aligned}$$

Entonces Bundy dice:

$$\text{Prob}(A) = \sum_{r \in i(A)} P(r)$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

En la práctica funciona, porque la incidencia la podemos representar con un vector 0 y 1.

Si $\text{Card}(\Theta) = n$ entonces $\forall s, s \subseteq \Theta$, puede ponerse

$$S = \{ e_1, \dots, e_n \} \quad e_j = \begin{cases} 0 & \text{si } i_j \notin S \\ 1 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\theta = (i_1, \dots, i_n)$$

Notemos $\text{Pr} = \{ \text{Pr}(i_1), \dots, \text{Pr}(i_n) \}$

$$i(A) = \{ e_1, \dots, e_n \}$$

entonces $\text{prob}(A) = \langle \text{Pr}, i(A) \rangle$

Veamos un ejemplo:

Supongamos que lanzamos un dado y una moneda. El conjunto de posibles resultados es el conjunto de los pares:

$$\Theta = \{ (1, \text{cara}), (1, \text{cruz}), \dots, (6, \text{cara}), (6, \text{cruz}) \}$$

La probabilidad de que salga impar y cara es, según la clásica:

$$P = 3 / 12 = 1 / 4$$

Según la lógica Bundy:

$$i(A) = \{ 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \} \quad a = \text{impar y cara}$$

$$\text{Prob} \{ \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\text{Prob}(A) = \langle \text{prob}, i(A) \rangle = [1/12] + [1/12] + [1/12] = 3/12$$

4.2.- Teoría de Subconjuntos Difusos.

Es el correlato paralelo de las teorías de conjuntos asociada a la Lógica de Boes, pero aplicada sobre la Lógica de Lukasiewicz (Ver Tema 3 apartado 2.5.1).

Esta Teoría va a permitir trabajar con la vaguedad del L.N.

La diferencia entre la lógica de Lukasiewicz y la lógica Fuzzy (Ver tema 3 apartado 2.6 y 2.6.1) es que la de Lukasiewicz coge una proposición y le asigna un grado de verdad, mientras que la Fuzzy permite trabajar con proposiciones vagas y tratarla de forma vaga.

La lógica Fuzzy está montada sobre la teoría de conjuntos difusos.

Lógica Lukasiewicz \rightarrow Teoría de Conjuntos Difusos \rightarrow Log. Fuzzy

La teoría de conjuntos difusos fue introducido por Zadeh en 1965. La idea de Zadeh es construir una teoría de conjuntos apoyada en la lógica de Lukasiewicz, trabajando con conjuntos finitos.

Sea $U = \{u\}$ infinito

Un conjunto difuso de U :

$$S = \{ (U, r_u) \mid u \in U, r_u \in [0, 1] \} \quad r_u: \\ \text{Grado de pertenencia} \\ \text{De } u \text{ a } s.$$

En general, cualquier subconjunto difuso se representa mediante una función de pertenencia:

$$\mu_s : U \rightarrow [0, 1] \\ \mu_s(u) = r_u$$

Parte Difusa de U : $P(U) \equiv [0, 1]^u$

Está diseñada para representar vaguedades y no incertidumbres.

OPERATIVIDAD DE FUNCIONES DE PERTENENCIA

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$*.- \mu_{A \cup B} = \text{Sup} \{ \mu_A, \mu_B \} = \mu_A \cup \mu_B$$

$$*.- \mu_{A \cap B} = \text{Inf} \{ \mu_A, \mu_B \} = \mu_A \cap \mu_B$$

$$*.- \mu_{\neg A} = 1 - \mu_A$$

Con estas operaciones $P(U)$ sale un retículo distribuido no complementado: ~

$$\begin{array}{ll} 1 & A \cup \neg A \neq U \\ 2 & A \cap \neg A \neq 0 \end{array}$$

El complemento hay que entenderlo como los que cumplen la propiedad con un grado y los que la cumplen con el grado complementado.

.- Relación Binaria difusa: Subconjunto difuso de un producto cartesiano. Se puede representar como una matriz que contiene números entre $[0, 1]$ que dan el grado de relación entre las entradas de la matriz.

Propiedades:

.- Reflexiva: La diagonal es distinta de 0. Cada elemento está relacionado consigo mismo.

.- Simétrica: X relacionado con Y con grado a e Y con X en grado a.

.- Transitiva der max-min:

$$R(x, z) \geq \max_y \{ R(x, y) \wedge R(y, z) \}$$

Relación de equivalencia: reflexiva, simétrica y max-min transitiva. Se denomina de SIMILITUD y extiende la idea de equivalencia. Es una relación más débil, y permite clarificar sucesos de forma que los sucesores son iguales, salvo matrices.

Si se suprime la max-min transitiva, se obtiene la relación de semejanza. Esto se puede utilizar para construir clasificadores.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Se llama **a-Corte** de un conjunto difuso a:

$$S_a = \{ u \mid \mu_s(u) \geq a \} = \text{Conjunto de puntos tales que su grado de pertenencia es mayor que } a.$$

Se puede probar que cualquier a -coste de una relación de similaridad es una relación de equivalencia clásica.

Supongamos X e Y normales y $f: X \rightarrow Y$.

Sea A un subconjunto normal de X, entonces $f(A)$ sería el conjunto formado por las imágenes de los elementos de A

Si A es un subconjunto difuso, $f(A)$ también lo será.

$$\mu_{f(A)}(y) = \sup_{x/y = f(x)} \mu_A(x)$$

Dos puntos con un grado de pertenencia a A tienen la misma imagen: El grado de pertenencia de $f(A)$ a la imagen será el grado mayor de las antiimágenes. Se le conoce con el nombre de **Principio de Extensión de Zadeh**.

Un número difuso es el resultado e realizar una medida aproximada.

La suma de números difusos será

$$(M + N) = \sup_{(x, y) \mid r = x + y} \{ M(x) \wedge N(y) \}$$

El producto se extiende de la misma forma.

4.3.- Variables lingüísticas

La otra variable lingüística usual es el **Grado de Verdad** de una proposición (w). Es una función que a cada proposición le da un grado de verdad.

La variable lingüística asociada W tomará valores en un conjunto de etiquetas, y cada etiqueta será un subconjunto difuso de [0, 1].

J. Baldwin, dijo que la variable lingüística verdad, se va a definir en tales términos de dos etiquetas extremas: verdadero y falso.

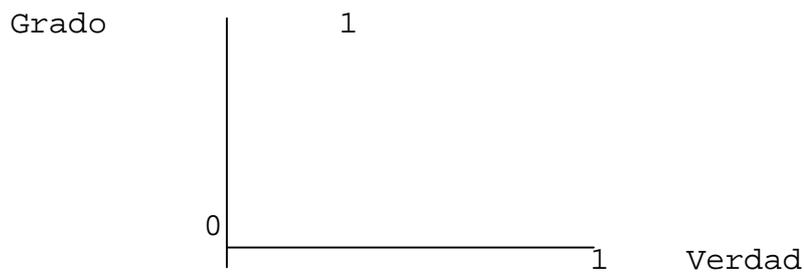
La semántica de la etiqueta **Verdad** será la diagonal principal.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

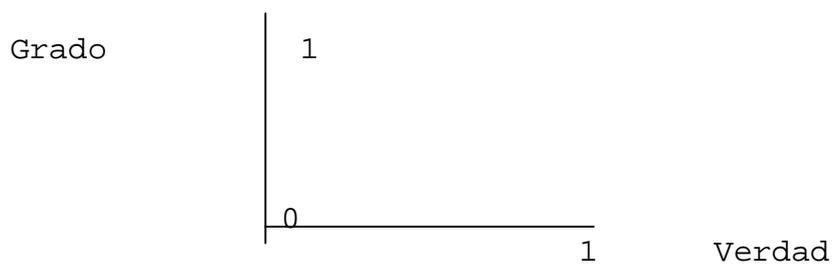


La semántica la etiqueta **Falso** será la complementaria

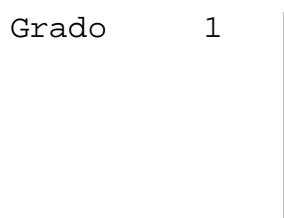


Se pueden introducir modificadores:

*.- Muy Verdadero



*.- Muy Falso



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$X * Y \equiv R(x, y) = f(\mu_p, \mu_q)$$

f:: Función Material

$$R(x, y) = f(\mu_p, \mu_q)$$

p' (x)

Q' (y)

La forma más simple de implementar R(x, y), siendo la más usada, es:

$$\begin{aligned} R(x, y) &= \text{Min} \{ P(x), Q(y) \} \\ Q'(y) &= \text{Max}_x \{ P'(x) \wedge R(x, y) \} \\ Q'(y) &= \text{Max}_x \{ P'(x) \wedge [P(x) \wedge Q(y)] \} \\ &= Q(y) \wedge \text{Max}_x \{ P'(x) \wedge P(x) \} \end{aligned}$$

α

De lo de arriba se deduce:

$$Q'(y) = \alpha \wedge Q(y)$$

α

El problema que tiene esto es que Q' no tiene etiqueta: La interpretación de Q' es que cumple la propiedad Q pero con menor fiabilidad.

Una versión alternativa han sido los **Frame Difusos**. Vimos que los Frame eran estructuras con una serie de ranuras en

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

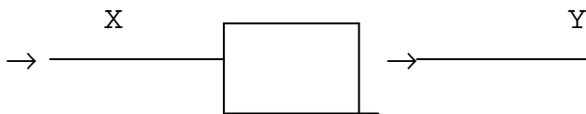
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

cada una de las cuales se puede insertar una propiedad cuantitativa cualitativa. Pues bien, los frames difusos son aquellos cuyas propiedades toman sus valores de un subconjunto difuso (rellenar los Slots mediante predicados vagos).

4.4.- Sdisemas de Control.

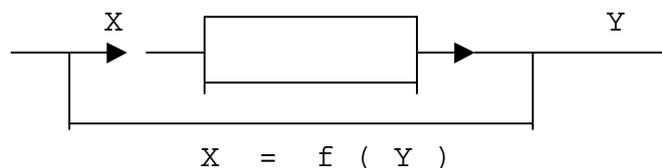
Los sistemas de control son una parte de los S.E.

Un sistema de control puede definirse como una caja negra donde entran y salen cosas.



El hombre intenta que los sistemas evolucionen en su beneficio. Si los sistemas fuesen determinísticos se podría estudiar la dependencia entre entradas y salidas.

Pero este determinismo es irreal, normalmente los sistemas tienen algunos factores que influyen sobre ellos. ir lo que para conseguir que el sistema produzca la salida deseada hay que retroactivar el sistema y cambiar las entradas en función de las salidas que vamos obteniendo (Ej. misiles guiados por el calor), por lo que el control es función de la salida observada.



$$X (t + \text{Incr. } T) = f (y (t))$$

Con esto se han construido sistemas tan complicados como los que llevan los cohetes a la luna.

En el año 75, Abe Mamdami pudo describir el comportamiento y reglas de control de una planta de cemento de forma muy sencilla con solo 13 reglas de la forma:

Si X es A entonces Y es B

Donde X, Y son variables numéricas de E/S, que se podrán representar en el intervalo $[-10, 10]$ y A, B son etiquetas.

Para cada variable se establecen 5 etiquetas:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Positivo Grande
Positivo Pequeño
Nulo
Negativo Pequeño
Negativo Grande

Supongamos una regla

Observamos t que tendrá un grado de comportabilidad con
A

$A \Rightarrow B$
 t

B'

En este caso tendremos:

Uniando las dos figuras nos queda:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Para asignar a B' un valor numérico le asignaba el valor del centro de gravedad (obtenido mediante integrales) que era el valor que suministraba a los sensores otras reglas.

Si se encontraba con dos consecuentes, unían las dos gráficas B' y B'' y aplicaba el mismo proceso del cálculo del centro de gravedad.

4.5.- Teoría de la Medida de Posibilidad.

Fue introducida por Zadeh, en 1970 aprox., a raíz de la teoría de la vaguedad sobre los conjuntos difusos.

Trata de medir la vaguedad. Es una medida de desconocimiento a posteriori. Mide la vaguedad de las proposiciones.

Zadeh describe un universo notado como π , con las siguientes características:

$$U \quad \pi: P(U) \rightarrow [0, 1]$$

$$\pi(U) = 1$$

$$\pi(O) = 0$$

$$\pi(A \cup B) = \pi(A) \cup \pi(B)$$

(B)

Podemos interpretar

π : Experimento o variable

$\pi(A)$: Medida del grado en que resultado pertenece a A

Veamos un ejemplo:

El ejemplo de los huevos de Hans. Un individuo desayuna todas las mañanas huevos. En sus estomago cogen unos 20 huevos. Todas las mañanas desayuna 10-20. ¿Cuál es la probabilidad de que se tome mañana 15 huevos? Su potencia física se lo permite, pero la probabilidad es nula.

Según esto la posibilidad de comerse 15 huevos es cierta, siendo la probabilidad casi nula.

Según esto:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\text{Prob}(A) \geq \text{Poss}(A)$$

Supongamos una propiedad vaga μ

Definimos la siguiente función:

$$\pi(A) = \text{Sup}_{x \in A} \mu_P(x) \quad \forall A \in P(u)$$

μ representa una propiedad vaga

Por extensión de la fórmula anterior:

$$\pi(A) = \text{Sup}_{x \in A} (\mu_P(x) \wedge \mu_A(x))$$

Tenemos asociado a esto:

$$\begin{aligned} \text{Bel}(A) &= \text{Poss}(A) \\ \text{Pl}(A) &= 1 - \text{Poss}(\bar{A}) = \text{Necesidad}(A) \end{aligned}$$

Deseabilidad

M. Sugeno estudió las medidas no aditivas para dar a los fabricantes una medida global de la deseabilidad de un coche. Esto lo explicó con caras de mujer, dividida en 6 zonas:

$$Z_1, \dots, Z_6$$

y establece un test, preguntando:

¿Qué zona parece más atractiva?,

sacando así un valor asociado para cada zona.

$$\begin{array}{l} V(Z_1) = V_1 \rightarrow C_1 \\ \vdots \\ \vdots \end{array}$$

Donde V_i es la importancia de la zona y C_i el valor de la zona.

$$\begin{array}{l} \vdots \\ \vdots \\ V(Z_6) = V_6 \rightarrow C_6 \end{array}$$

Según esto el resultado será :

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$b = \max_{1 \dots 6} (V_i \wedge C_i)$$

TEMA 6 : APRENDIZAJE AUTOMATICO

1.- Introducción

2.- Modelos o Técnicas de Autoaprendizaje.

2.1.- Redes Neuronales

2.2.- Ajustes de Parametros o Aprendizaje por Repetición.

2.3.- Autómatas Probabilísticos.

2.4.- Algoritmos Genéticos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 6

APRENDIZAJE AUTOMATICO

1.- Introducción.

Las técnicas clásicas para la adquisición del conocimiento son las técnicas inductivas. Se intentó automatizar el proceso de la adquisición del conocimiento, se intentó que las máquinas adquirieran conocimiento.

En los años 50 y 60 los SE y el aprendizaje automático se desarrollan independientemente. Es a partir del año 1985 donde se juntan un poco, y aparecen los SE con aprendizaje automático.

Los **Sistemas Autoadaptativos** son aquellos que tienen capacidad para adaptarse a estímulos externos y responder a dichos estímulos.

Hay dos modos de aprendizaje:

*.- **Autoaprendizaje:** El solo saca sus conclusiones, y por tanto el conocimiento .

*.- **Conocimiento contado:** Decirle las cosas para que no aumente el conocimiento.

2.- Modelos o técnicas de autoaprendizaje.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.1.- Redes Neuronales.

La idea es construir máquinas que simulasen al cerebro (neurona) y por tanto el comportamiento humano, sin ser una imitación de éste, ya que el cerebro posee características que no la tienen los ordenadores, como el paralelismo frente a la secuencialidad de las máquinas y el tener memoria distribuida frente a la memoria direccionable de los ordenadores.

Las **Redes Neuronales** son máquinas más potentes y están formadas por unidades conectadas mediante varios canales, con varias entradas y una única salida. En cada una de estas unidades o nodos se realizan cálculos totalmente locales.,

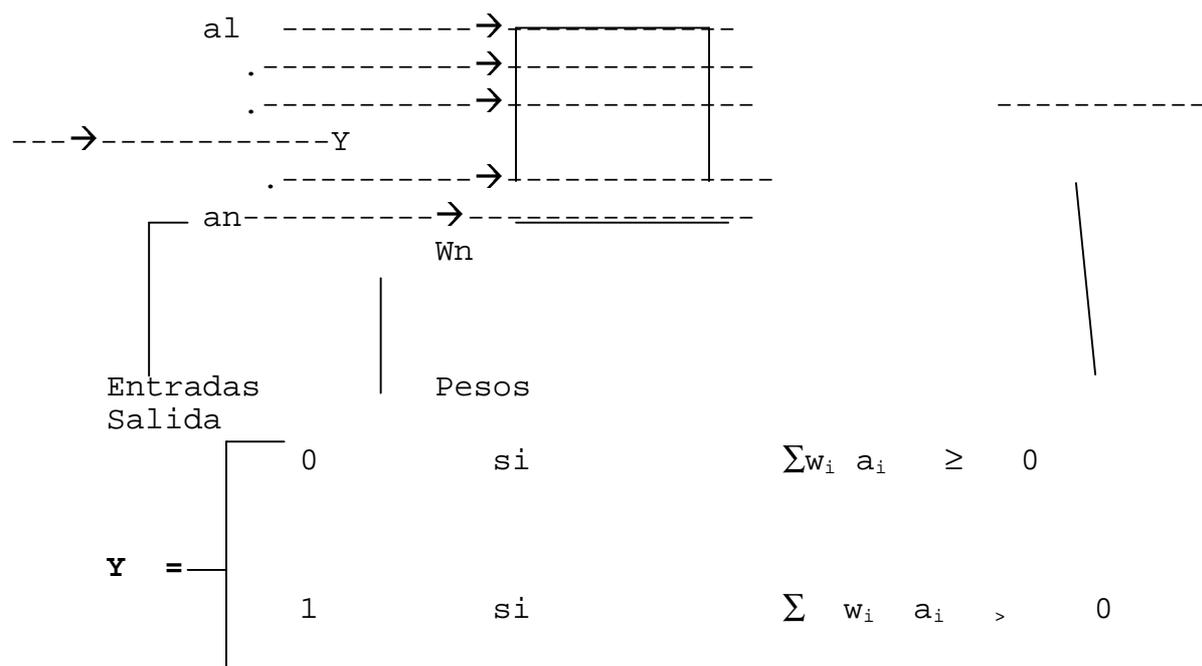
Las principales características de las RN son :

.- **Memoria Distribuida:** tienen que ser tolerantes a fallos

.- **Paralelismo:** Paralelismo, existen muchas unidades procesando, ya que la tendencia es construir ordenadores cuyas tareas sean muy específicas y se realicen más tareas.

El primer mecanismo fue creado por Mcculloch y Pitts. Para ellos una **neurona** es una caja con n-entradas y una sola salida.

La excitación era negativa cuando había inhibición y positiva en caso contrario.



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Rosemblatt varió la función de salida, de la siguiente forma:

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{si } \sum w_i x_i < s \\ 1 & \text{si } \sum w_i x_i \geq s \end{cases}$$

donde $\sum w_i x_i = \mu$ defiende un hiperplano, y de esta forma, si defino una neurona con dos puntos, puedo determinar si esta por encima o por debajo de la recta y parece razonable pensar que si colocamos varias neuronas podríamos distinguir puntos dentro y fuera de un cuadrado. Pero se probó que las Redes Neuronales construidas con receptores no pueden aprender más allá que lo que una sola neurona. A esto se le llamó Teorema de la licitación del perceptrón.

Definamos primeramente lo que es un **PERCEPTRON**

El perceptrón es una red multicapa con conexiones intercapa de atrás a delante. El primero estaba constituido por una capa de entrada que se filtra y está conectada con un axón a la capa de salida. Cada una de estas neuronas, es una neurona de Mc Culloch-Pitts con umbral cero.

Teorema de la Limitación del Perceptrón

Fue Rosemblatt el que lo introdujo, ya que pensó en extender el perceptrón, introduciendo una o dos capas más, y llegó a la conclusión de que :

El perceptrón como máquina es limitado. Por tanto las Redes Neuronales también lo son.

Debido a esto, se olvidaron las Redes Neuronales como solución a estos problemas, hasta que años más tarde con la aparición del BACK-PROPAGATION el perceptrón volvió a tener importancia en la resolución de problemas.

Widrow introdujo el ADALINE que es una neurona capaz de adoptar sus pesos para producir la salida deseada a partir de las entradas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Minsky construyó una máquina que funcionaba como el perceptrón de Rosembart. Él demostró que varias capas discriminan igual que el de una caja y además solo discriminaban sistemas fuertemente lineales.

Las redes neuronales son actualmente el método más utilizado en el aprendizaje automático, y muy utilizados en los S,.E.

2.2.- Ajuste de parámetros o aprendizaje por repetición

El ejemplo más claro es la máquina de jugar al ajedrez, y todo lo basado en la teoría de juegos y de la programación dinámica

2.3.- Autómatas probabilísticos

Se representan de la siguiente forma:



El autómata probabilístico funciona de la siguiente manera:

El autómata produce al azar una respuesta ante el ambiente y la aplica. En función de la respuesta del ambiente modifica la probabilidad que la respuesta del ambiente modifica la probabilidad de que la respuesta se usa en el futuro. Esto se repite hasta que toda acción tenga respuesta positivas.

Este método es muy usado para control (sobre todo para routing telefónico).

2.4.- Algoritmos Genéticos

Se basan en el principio de la Selección Natural. Están especialmente diseñados para la búsqueda. Si quiero obtener la mejor solución para un problema y tengo varias soluciones, puedo hacerlo combinando las dos mejores soluciones por reglas genéticas, partiendo y recombinando.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Un algoritmo genético debe tener los siguientes componentes:

.- Representación binaria de las posibles soluciones, cada punto del espacio de búsqueda se puede representar como una sucesión de 0 y 1 encapsulada como un cromosoma.

.- Evaluación de las soluciones: Heurística que permita saber cuan buena es la solución como solución del problema.

.- Método de selección, debe ser capaz de construir en una subpoblación un mecanismo aleatorio que permita escoger las soluciones al azar dentro de la subpoblación.

.- Método de partición: método para partir los cromosomas.

Los algoritmos genéticos parten de una población de soluciones y van mejorando la población hasta que contenga la solución óptima. Se necesita un procedimiento de selección, tal que se escojan individuos al azar para formar la nueva población. Se hace una división de los cromosomas y se establece un mecanismo de cruce, para el que se necesita cortar por algún sitio y recombinar. Tras esto se vuelve a empezar.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

.TEMA 1 = INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO

1.- INTRODUCCION.-

1.1.- FORMAS DE EXPRESAR EL CONOCIMIENTO.

1.2.- FUNDAMENTOS DE LA INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO.

1.2.1.- Conocimiento y habilidad.

2.- SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO. SISTEMAS EXPERTOS.-

2.1.- SISTEMAS EXPERTOS FRENTE A SISTEMAS DE
CONOCIMIENTO.

3.- PAPEL Y NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO EXPERTO.-

3.1.- NIVELES DE CONOCIMIENTO EN UNA MAQUINA

3.2.- IDEAS BASICAS EN LA RESOLUCION INTELIGENTE DE
PROBLEMAS.

4.- CONCEPTOS GENERALES EN LA ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO.-

4.1.- TECNICAS DE ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO.

4.1.1.- Técnicas Manuales e interactivas.

4.1.1.1.- Entrevistas

4.1.1.2.- Expertos múltiples

4.1.1.3.- Observación.

4.1.1.4.- Técnicas basadas en psicología

4.1.2.- Aprendizaje

4.1.3.- Técnicas de aprendizaje automático

4.1.3.1.- Tabla de decisión.

4.2.- ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO BAJO INDECISION.

4.3.- REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO.

4.3.1.- Modelos de representación.

4.3.2.- Lenguajes de representación.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.- INTRODUCCION.-

La informática básica maneja fundamentalmente dos conceptos:

- **dato**
- **información**

y, en este punto se puede añadir un concepto más:

- **conocimiento**

La importancia de estos tres conceptos radica en la jerarquía relativa existente Entre ellos, y no en el significado en sí de cada una de las palabras.

- A) **Un dato es una unidad de información, es decir, representaciones simbólicas que representan aspectos simples (sin elaborar de un universo de discurso o línea de aplicación. Tiene carácter inerte dentro del mundo real.**

Dentro de los datos podemos distinguir:

- Un *objeto* es un elemento simple de un dominio. De otra forma, será una n-upla de pares (atributo-valor).**
- Un *hecho* será una relación entre objetos. Más formalmente, será una n-upla de n-uplas de pares (atributo-valor) es decir, una n-upla de objetos.**

Así un dato puede definirse como un ente procesable por un ordenador, dato que podrá ser un objeto o un hecho,.

- B) **La información es cualquier estímulo capaz de alterar la conducta o estado de un sistema.**

Así, un dato proporcionará información en cuanto altere el estado de un sistema, y esto se produce cuando se proporcionan datos nuevos. Por tanto un mensaje será informativo en función de lo novedoso y sorprendente de sus datos.

Para pasar de dato a información, hay que seguir un “proceso de análisis” de los datos:

DATO-----> INFORMACION
Proceso e análisis

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

C) **Cuando tengo varias informaciones sobre un mismo dominio, puedo agruparlas dentro de un nuevo concepto llamado conocimiento, al que se llega a través de un “proceso de síntesis” de informaciones:**



Podemos ver que datos y conocimiento sólo difieren en lo que es la complejidad, el procesamiento. Por tanto, se puede definir también el conocimiento, como el procesamiento de los datos.

El conocimiento lo podemos ver como un **MODELO** de los datos considerados y de la información obtenida; con esto, los datos serán los **ITEMS** del modelo.

ITEMS-----> información----->MODELO

Con esta filosofía, un conocimiento podrá servir de dato para otra deducción en un nivel superior.

Para completar esta visión del conocimiento, podemos ver el siguiente esquema, en cuya cúspide se encontrará la sabiduría (que sería el conocimiento procesado con juicios morales.....):

1.1.- Formas de expresar el conocimiento.-

Existen dos formas fundamentales de expresar el conocimiento:

- a) **Conocimiento DECKLARATIVO:** Aquel en el que se describen “cosas”.
- b) **Conocimiento PROCEDURAL:** Aquel en el que se describe como funcionan las “cosas”.

Existe una gran polémica en cuanto a la separación y conversión entre ambos tipos, y también, respecto a cuál es el mejor en Inteligencia Artificial. Consideremos, de momento, que ambos tipos de conocimientos son intercambiables. Además, una misma frase puede ser declarativa y procedural, y, de hecho, suele ocurrir así.

Las principales diferencias existentes entre estos dos tipos de conocimiento son:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- i) **El conocimiento procedural es más pequeño: consume poca memoria, pero mucha CPU.**
- ii) **El conocimiento declarativo consume más memoria, pero es más fácil de utilizar consumiendo menos CPU.**

Suele utilizarse más el conocimiento declarativo, pero muchos sistemas expertos prefieren el conocimiento procedural. Actualmente se habla de conocimiento PRECISO o IMPRECISO; la forma más natural de expresar el conocimiento es el lenguaje natural, que es por definición impreciso y ambiguo.

Ejemplo: **La expresión “mucho tiempo” es totalmente ambigua e Imprecisa.**

Por ello, el conocimiento hay que expresarlo mediante el lenguaje, pero teniendo en cuenta el contexto en el que nos encontremos.

Por otro lado aparece lo que se denomina conocimiento OMUN, conocimiento que todo el mundo tiene ya que describe aquello que rodea a la gente. Se pueden señalar dos tipos:

- **Conocimiento común del mundo: Aquellos conocimientos que todo el mundo sabe.**

Ejemplo: **“La nieve es blanca”
“El cielo está por encima de la tierra”**

- **Conocimiento común informado: Conocimiento que sólo posee cierta parte de la gente.**

Ejemplo: **Un electricista tiene conocimientos propios de su profesión que el resto de la gente no tiene porqué saber.**

Este conocimiento es el más estudiado por ser el utilizado por los sistemas expertos, ya que éstos han de poseer un conocimiento que constituya el “marco” de sus actuaciones. El problema es que dicho marco presenta dificultades a la hora de las actualizaciones de las actuaciones de los sistemas expertos.

1.2.- Fundamentos de la Ingeniería del Conocimiento.-

Para describir su disciplina, los investigadores, en el campo de los sistemas expertos han adoptado el término de *Ingeniería del Conocimiento*, que combina elementos científicos, tecnológicos y metodológicos.

Los principios de la Ingeniería del Conocimiento raramente se ajustan a algún proceso algorítmico riguroso, aunque las tareas esenciales en esta área son la computerización, extracción y articulación del conocimiento experto.

1.2.1.- Conocimiento y habilidad.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

¿Qué es el conocimiento en un dominio ado?. Hablando abstractamente, el conocimiento consiste en descripciones, relaciones, y procedimientos en algún dominio de interés (Bernstein, 1977).

- a) Las descripciones en una base de conocimiento, que identifican y diferencian objetos y clases, son oraciones en algún lenguaje, cuyos componentes elementales consisten en caracteres distintivos o conceptos primitivos., U n sistema de descripción incluye generalmente reglas o procedimientos para solicitar e interpretar descripciones en aplicaciones específicas.
- b) Una base de conocimiento también contiene clases particulares de descripciones, conocidas como relaciones. Estas expresan dependencias y asociaciones entre particularidades en la base de conocimiento. Normalmente, tales relaciones describen asociaciones taxonómicas, definitorias y empíricas.
- c) Los procedimientos, en otra parte, especifican las operaciones a realizar cuando se intenta razonar o resolver un problema.

Siendo una sustancia no extraíble y no refinada, el conocimiento permite, de algún modo, que el experto humano resuelva problemas difíciles. Este conocimiento puede adoptar muchas formas. Una forma encontrada muy a menudo consiste en asociaciones empíricas.

Ejemplo: Los doctores y geólogos tienen conocimiento de muchas de tales asociaciones en forma de causas probables para la información observada.

Además de ese conocimiento, los expertos utilizan métodos heurísticos para combinar errores probabilísticos, e información e inferencias inciertas. Muchos expertos poseen también otras formas de conocimiento, en forma de conceptos, restricciones y regulaciones que gobiernan operaciones en su campo. Pueden también utilizar modelos causales de los sistemas que estudian, así como esquemas de razonamiento que utilizan estos modelos para predecir, diagnosticar, planificar o analizar situaciones.

En resumen, el conocimiento consiste de:

- (1) Las descripciones simbólicas que caracterizan las definiciones y relaciones empíricas en un dominio.
- (2) Los procedimientos para manipular en estas descripciones.

La ingeniería del conocimiento dirige el problema de los sistemas de computadoras calificados como constructivos, tratando primero el conocimiento con los expertos y organizándolo, entonces, con una instrumentación efectiva.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Los distintos tipos genéricos de sistemas expertos que existen tienen ciertos componentes comunes.

2.- SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO. SISTEMAS EXPERTOS.-

Definiremos SISTEMA como sinónimo de programa, es decir, se referirá a sistema software.

Dentro de los sistemas software, distinguiremos dos tipos:

- a) **Sistemas basados en el conocimiento: Sistema que emplea conocimiento humano implementado en ordenador para resolver problemas que requieren el concurso de la experiencia humana.**
- b) **Otros: Los convencionales.**

Dentro de los SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO se distinguen:

- i) **Sistemas expertos consultivos o explicativos: son capaces de trabajar como un experto, y además, explicar al usuario el “porqué” de sus razonamiento, es decir, programas capaces de explicar su flujo de control.**
- ii) **Otros.**

Ejemplo: * Los programas que juegan al ajedrez normalmente no son capaces de explicar porqué hace un determinado movimiento.

- MYCIN, que hace diagnóstico de enfermedades pulmonares, si es capaz de explicar el proceso seguido antes de hacer un diagnóstico.

Así un sistema experto consultivo no es más que un sistema basado en el conocimiento, con un modulo explicativo.

Actualmente, los sistemas expertos son utilizados para:

- **Sustituir a los expertos en determinados casos.**

Ejemplo: **Supongamos que se quiere construir una UVI móvil. En ella habrá una estación de trabajo: si tenemos un diskette para cada tipo de enfermedad, una persona experta sabrá como actuar mientras se llega al hospital.**

- **Para propagación del conocimiento, es decir, para enseñanza asistida.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.1.- Sistemas expertos frente a sistemas de conocimiento.

Un sistema experto es algo cuyo comportamiento es tan sofisticado que asemeja el comportamiento una persona que desempeñase una tarea de manera similar a un experto. MYCIN Y XCON son ambos buenos ejemplos. Los profesionales altamente entrenados diagnostican enfermedades de la sangre (MYCIN) y configuran equipos complejos de computación (XCON). Estos sistemas verdaderamente intentan emular la clase de mundo de los expertos humanos.

En el mundo comercial, sin embargo, algún sistema está emergiendo, aunque por la competencia, están desempeñando tareas para las que el calificativo “expertas” no se puede aplicar realmente. Tales sistemas pequeños son referidos a, los mismos sistemas de conocimiento (también conocidos como sistemas asesores, sistemas inteligentes de ayuda en el trabajo, sistemas operacionales).

Ejemplo: Fijémonos en un sistema que aconseje las vacunaciones recomendadas para viajar al extranjero. El aviso depende de muchos atributos con la edad, sexo, y la salud de viajero, así como el país de destino. Se necesita ser conocedor para dar tal aviso, pero no se necesita ser un experto.

En este caso prácticamente todo el conocimiento que relaciona a este aviso está documentado en unos manuales disponibles en la mayoría de los departamentos de salud pública (en solamente 10 2 % de los casos es necesario consultar un médico).

La distinción entre los dos tipos puede no ser tan aguda cuando se llega a la realidad. Muchos sistemas involucran tanto conocimiento documentado como experiencia indocumentada. Básicamente es una cuestión de cuánta experiencia real está incluida en los sistemas que los clasifican en una categoría u otra.

Los sistemas de conocimiento pueden ser construidos más rápidamente y a más bajo precio que los sistemas expertos verdaderos.

3.- PAPEL Y NECESIDAD DEL CONOCIMIENTO EXPERTO.-

3.1.- Niveles de conocimiento en una máquina.-

A) EL CONOCIMIENTO FACTUAL es establecido por la Teoría de Orden 0.

Sin embargo hay que tener en cuenta que el conocimiento “divaga” (toma caminos de razonamiento que no conducen a nada), al igual que lo hace el ser humano.

Ejemplo: Este es el conocimiento que tiene un mecánico, cuando le llevamos a arreglar el coche, y sabe que si el coche echa humo, puede ser por el encendido o por el carburador, pero que

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

normalmente será del carburador.

Esta información ya no procede exactamente del dominio, sino que viene dada por la forma de conseguir una mayor eficiencia: así surgen las heurísticas, a través de la experiencia.

- B) LA HEURISTICA es establecida por la Teoría de Orden 1, y se puede definir como el conocimiento que tiene un experto a partir de sus propias experiencias. Pero aún así puede fallar.**
- C) EL METACONOICMIENTO es establecido por la Teoría de Orden. Se define como la parte del conocimiento absolutamente independiente del dominio, y puede incluso permitirnos implementar coherentemente nuestro sistema.**

Ejemplo: Se puede establecer:
“Cuando esté establecida la base de conocimiento, a cada antecedente ponerle su consecuente”.
e ir construyendo así nuestro sistema.-

A nivel sintáctico, los errores del sistema son detectables mediante metaconocimiento. También se puede hacer con algunos errores semánticos, no con todos.

Cuando hay un conflicto entre posibilidades, es necesaria la intervención de un módulo que lo resuelva, módulo que estará formado por heurísticas y, principalmente, por metaconocimiento.

Ejemplo: Este módulo ha de ser algo del tipo:
“Comenzar escribiendo las causas más graves”
“La opinión de un senior tiene más peso que la opinión de un junior”:
.....

el cual es aplicable a cualquier dominio, tal como lo Expresaba la definición de metaconocimiento.

Actualmente, a los sistemas hay que introducirles toda la información que requieran, pero se está trabajando en la posibilidad de que el sistema pueda *aprender* de su propia experiencia.

De momento, esto se está haciendo para conocimiento factual, pero no se ha encontrado la forma de que el sistema pueda llegar a deducir heurísticas o metaconocimiento de forma automática.

3.2.- Ideas básicas de la resolución inteligente de problemas.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las ideas implícitas y próximas a la resolución inteligente de problemas, vistas en la tabla 1.2, ayudan a explicar la importancia del conocimiento dentro de los sistemas expertos. En la mayoría de los casos, en problemas que no son formalizados fácilmente o no tienen solución algorítmica, deberán utilizarse métodos heurísticos; y la solución efectiva depende del uso adecuado del conocimiento para identificar decisiones potenciales que son prometedoras y para dejar fuera las que no la son.

TABLA: IDEAS BASICAS.-

- 1 Conocimiento Hechos + Creencias + Heurísticas**
- 2 Éxito = Encontrar una respuesta suficientemente buena con los recursos disponibles.**
- 3 Buscar eficiencia directamente afecta al éxito.**
- 4 Ayudas a la eficiencia:**
 - a) Aplicar y corregir conocimiento discriminante**
 - b) Eliminación rápida de “callejones sin salida”.**
 - c) Eliminación de cálculo redundante.**
 - d) Incremento de velocidad de operación del ordenador.**
 - e) Múltiples fuentes de conocimiento.**
 - f) Razonamiento en niveles variables de abstracción.**
- 5 Fuentes del incremento de dificultad del problema:**
 - a) Información o conocimiento erróneos.**
 - b) Cambio de información dinámicamente**
 - c) La cantidad de posibilidades a evaluar.**
 - d) Los procedimientos complejos fuera de las posibilidades.**

La noción central de la resolución de problemas de manera inteligente es que un sistema tiene que construir sus soluciones selectivas y eficientemente desde un espacio de alternativas, con el mínimo trabajo inútil como sea posible. Un conocimiento experto ayuda a obtener antes los datos, sugiriendo formas de explotarlos, y evitando esfuerzos, podando callejones sin salida lo más pronto posible.

Un sistema experto lleva a cabo una gran utilización de conocimiento para hacer el mejor uso de su tiempo.

4.- CONCEPTOS GENERALES EN LA ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO.-

La transferencia de conocimiento desde algún origen a la base de conocimiento es llamada “adquisición del conocimiento” u obtención del conocimiento. La adquisición del conocimiento involucra aplicar una técnica para obtener información del experto, interpretar esta información para reconocer lo fundamental del conocimiento, y construir un modelo de representación del

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

conocimiento. Dicho de otro modo, será el proceso de obtener datos de alguna fuente, procesarlos para extraer el conocimiento existente en ellos, y representarlos mediante algún formalismo.

Las fuentes de conocimiento son expertos, libros, experiencia personal, información experimental agrupada en base de datos, etc..Nosotros nos basaremos únicamente en dos fuentes de conocimiento:

- **expertos**
- **Documentos de tipo base de datos: libros sobre la materia, bases de datos desde el punto de vista informático....., es decir, documentos especializados.**

Como resultado de la adquisición del conocimiento, se construye la base de conocimiento,. En el caso de las redes semánticas, los nuevos nodos son creados y añadidos a la estructura mediante la adición de uniones, mientras que en el caso de los sistemas de frame, algunas ranuras vacías de los frame pueden ser llenadas. Los nuevos frame pueden ser creados por la instanciación de frames genéricos y unidos al sistema. En todos los casos, las nuevas unidades de conocimiento pueden causar la revisión de un sistema existente.

Ejemplo: **Las nuevas reglas pueden interferir con otras antiguas, así que el sistema completo debe ser modificado,.**

La adición del conocimiento al sistema experto puede ocurrir tanto directamente, en las mismas unidades existentes en la base del conocimiento, o como resultado de INDUCCION de ejemplos, o como DEDUCCION del conocimiento concurrentemente de la base de conocimiento. Ambas inducción y deducción pueden ser hechas a máquina. La inducción es el proceso de producir principios generales a partir de ejemplos específicos.

4.1.- **Técnicas de adquisición del conocimiento.-**

En general, las técnicas de adquisición del conocimiento pueden ser catalogadas en dos grupos:

- A) **Técnicas manuales: Aquellas en las que únicamente interviene el ingeniero del conocimiento, sin apoyo del ordenador.**
- B) **Técnicas asistidas por ordenador: Aquellas en las que se utiliza el ordenador como herramienta. Estas se dividen en:**

Las técnicas de adquisición del conocimiento más populares están basadas en un contacto directo del ingeniero del conocimiento con un dominio experto, sin utilizar herramientas especializadas basadas en el ordenador,. Las técnicas manuales de adquisición del conocimiento son caras y obsoletas. Para simplificar el proceso de adquisición del conocimiento, una variedad de técnicas basadas en

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

ordenador ha sido desarrollada. las técnicas basadas en ordenador utilizadas en la adquisición del conocimiento pueden ser nuevamente clasificadas en interactivas y basada en el aprendizaje. Estas técnicas son discutidas en las secciones siguientes. Un método específico basado en el aprendizaje, LEM, es presentado en detalle.

4.1.1.- Técnicas manuales e interactivas..

Hoy en día, la técnica básica de la adquisición del conocimiento es, aún, una entrevista entre un experto en el dominio y un ingeniero del conocimiento. Esta entrevista puede ser hecha, bien directamente, en un encuentro exclusivo de persona a persona (manualmente), o bien con ayuda de algún paquete software (por una técnica interactiva).

Los dos principales caminos para obtener el conocimiento son:

- **Entrevista del experto**
- **Observación del experto**

En las técnicas anteriores, el ingeniero del conocimiento obtenía el conocimiento activamente haciendo preguntas sobre el experto (entrevista del experto). La técnica actual está basada en la función pasiva del ingeniero del conocimiento, el cual observa al experto en acción (observación del experto).

4.1.1.1.- Entrevistas.-

En una típica sesión de entrevista, el ingeniero del conocimiento pasa la mayoría del tiempo preparando la sesión, después analiza la sesión, y al final, de hecho, dirige la sesión.

En el proceso de entrevista, un ingeniero del conocimiento debe tomar un informe de los requerimientos del cliente, para preparar la documentación de la base del conocimiento.

En particular, el cliente desea conocer la procedencia de la información de la base del conocimiento, por razones diversas, entre las cuales está la posibilidad de modificación de los contenidos de la base del conocimiento en el futuro,

Usualmente las fuentes del conocimiento están organizadas en una librería designada especialmente. Los conceptos usados en el dominio están catalogados en un diccionario del conocimiento. Un ingeniero del conocimiento adquiere conocimiento a través de una secuencia de sesiones de entrevistas.

Al principio del proceso, estas sesiones pueden ser no estructuradas.

Ejemplo: El experto está dando una charla, mientras el ingeniero del Conocimiento está haciendo preguntas generales.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Más tarde, en el proceso de adquisición del conocimiento, las entrevistas estarán más estructuradas (la mayoría del tiempo el ingeniero del conocimiento está haciendo preguntas específicas).

Las sesiones pueden ser audiciones o audiovisuales. Algún tipo de grabación debe ser usada: en forma de tomar notas o en la forma especial de recopilación de datos. A estas se les llamas *formas de adquisición del conocimiento*. La forma de adquisición del conocimiento contiene información esencial, tal como una lista de sesiones, descripción de la información de los datos obtenidos de los hechos, definiciones, funciones, relaciones, tablas, taxonomías, diagramas, estrategias, heurísticas, reglas derivadas de la sesión; así como la información oficial (duración de la sesión, número, localización, nombre del ingeniero del conocimiento, y nombre del experto):

Como resultado de la entrevista, el ingeniero del conocimiento producirá reglas de la forma If-then. Alguna clase de proceso de revisión es usada para verificar la adquisición del conocimiento.

En una típica entrevista estructurada, el ingeniero del conocimiento debería guiar activamente al experto a través de la sesión, seguir la agenda preparada previamente, centrándose en lo importante de la sesión, hacer un resumen e la sesión y verificar los resultados de la entrevista. Al mismo tiempo,, algunas dificultades, identificadas en algunas fuentes, deberían ser evitadas: el experto debería ser tratado con respeto; el ingeniero del conocimiento debería mantener un equilibrio entre estar demasiado dominante y demasiado tolerante.

En general el experto debería tener oportunidad para expresar todas sus ideas; las preguntas deberían ser realizadas en lenguaje de experto y deberían ser breves.

El proceso de entrevista es más arte que ciencia, aunque el proceso a seguir podría ser:

A) Seleccionar los expertos:

- **Pueden surgir problemas como que no existan expertos en ese dominio, por ser un área de conocimiento nueva. La solución es que el propio ingeniero de conocimiento se convierta en un experto en el tema. Esto suele ocurrir en un 90% de los casos, ya que así éste evita que el experto le tenga ventaja, o le pueda “engañar”. Incluso ha habido casos en los que el ingeniero del conocimiento ha llegado a superar al experto.**
- **También puede ocurrir que exista el experto, pero que lo sea de un área muy pequeña, con lo que puede dar lugar a que**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

eje de ser experto en ese dominio en cuanto se le amplíe un poco el campo de actuación.

- **Otro problema es la reticencia de los expertos, pues ven que la construcción del sistema experto puede suponer un enemigo para su puesto de trabajo.**
 - **No hay que olvidar la posibilidad de encontrar varios expertos sobre nuestro dominio, posibilidad que, a menos que todos ellos sean expertos en la misma amplitud de dominio, presenta problemas.**
 - **Por último, a veces los expertos están tan mecanizados que son incapaces de expresar o computar sus propios conocimientos.**
- B) Tomar contacto con el experto y su ambiente: en muchos casos el conocimiento buscado se encuentra en el ambiente del experto más que en el experto mismo.**
- C) Organizar y conducir las reuniones: tener un plan de trabajo, preparar las preguntas para cada entrevista....**
- D) Documentación: es más conveniente ir documentando cada una de las entrevistas en lugar de hacerlo todo al final, es decir, se construirá una base de datos parcial y se irá ampliando,.**
- E) Tratamiento de la incertidumbre o adquisición de conocimientos inciertos, que se tratará posteriormente.**

4.1.1.2.- Expertos múltiples.-

Usualmente, los dominios muy complejos requieren la intervención de muchos expertos para la obtención del conocimiento. En general, se cree que un grupo de expertos lo hace mejor que un solo experto. La mayor ventaja de los expertos múltiples es la habilidad para detectar y corregir respuestas erróneas. Las técnicas especiales de entrevista son usadas para practicarlos con múltiples expertos.

Los expertos múltiples pueden ser entrevistados individualmente o en equipo.

-Típicamente, al comienzo del proceso de adquisición del conocimiento, es usada la técnica llamada “brainstorming” o DEBATE. Al principio del debate, los objetivos son expuestos resumidamente a los expertos y entonces éstos exponen sus opiniones tan rápidamente como pueden, mientras que éstas son anotadas, y más tarde, analizadas.

-Después en el proceso de adquisición del conocimiento, otra técnica llamada COINSULTA NOMINAL, puede ser usada. En ella, los miembros del equipo múltiple de expertos funcionan individualmente, esto es, se procederá a la extracción del conocimiento individual de cada uno de los expertos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

-Por último, se hará uso de la técnica llamada CONSENSO DE DECISIONES (consensus decision making). En esta técnica, un problema es presentado al equipo múltiple de expertos y después de algunas discusiones, se llega a una solución por votación. En caso de conflicto, será el ingeniero del conocimiento el que tendrá que tomar una determinación.

4.1.1.3.- Observación.-

A veces, los expertos no pueden expresar su conocimiento explícitamente, o pueden tener dificultades en hacerlo. En estos casos puede ser más fructífero adquirir el conocimiento mediante la observación. Para ellos se enfrenta al experto con su propio proceso de razonamiento, y el ingeniero, observando dicho enfrentamiento, obtener el conocimiento del experto.

Básicamente son usadas dos técnicas de observación:

- a) **Observación Concurrente**, también llamada “pensamiento en voz alta” o “protocolo verbal”, donde concurren experto e ingeniero del conocimiento.
- b) **Observación retrospectiva**, donde se enfrenta al experto con su actuación anterior, y se le pide que la describa.

La primera técnica está basada en la observación del experto durante el proceso de resolución de un problema, especialmente en la anotación de los pensamientos del experto durante la ejecución de la tarea.

En la Segunda técnica, el ingeniero del conocimiento anota ala manera en la cual el experto está resolviendo el problema y cuyo procedimiento explica al ingeniero del conocimiento después.

Cuando ni siquiera funciona la observación, habrá que recurrir a otros métodos, como el ANALISIS PSICOLOGICO, donde se enfrenta al experto con el dominio en el que trabaja, y así se le obliga a ver las relaciones existentes entre conceptos....., que a él, por sí solo, le cuesta encontrar.

4.1.1.4.- Técnicas basadas en psicología.-

Algunas técnicas de obtención del conocimiento están basadas en otras disciplinas (psicología, sociología, o antropología). Las más populares son las técnicas basadas en psicología.

- A) **En una aplicación del método de “barajar”, los conceptos mecanografiados en tarjetas individuales con índice, y entonces son agrupadas por el experto. El experto divide las tarjetas en grupos más pequeños, posteriormente las mezcla en grupos más grandes,**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

usando la técnica de pensamiento en voz alta, al mismo tiempo. El escalado multidimensional usa un conocimiento similar al de los expertos para comparar un conjunto de objetos,.

- B) Usando la técnica de pensar-en-alto, cada objeto es comparado con todos los demás para hacer un conocimiento similar a la ingeniería del conocimiento. Entonces se crea una matriz de datos y los objetos son escalados en diversas dimensiones.**
- C) El “repertorio de rejillas” es otra técnica basada en psicología. En ella, los *elementos*, usados para definir el área de experiencia, son caracterizados por el experto de acuerdo con *construcciones*, las cuales les dan valor a los elementos**

Ejemplo: Un elemento, un juguete es caracterizable por el experto como “agradable” en una escala de 0 a 9.

El repertorio de rejillas puede ser analizado para encontrar principios generales. Escalas multidimensionales y repertorio de rejillas son utilizadas para sacar información de herramientas expertas como AQUINAS, KITTEN, KSSO, and PLANET (Boose, 1989).

4.1.2.- Aprendizaje.-

La cuestión del aprendizaje fue iniciada por P.H. Winston (1970), mediante lo que se llamo disertación (1975). La suposición general es que el aprendizaje no puede ser iniciado sin suficiente conocimiento apropiado por el sistema. Un sistema de aprendizaje, INDUCE (Michalski and Chilausky, 1980), es bien conocido como ejemplo de programa que supera las habilidades del humano en la inducción de reglas de producción de calidad,.

Este apartado se restringe a “aprendizaje empírico” llamado también “similarity-based learning”. Los principales métodos de aprendizaje empíricos, son rutinas de aprendizaje, aprendizaje oral, aprendizaje por analogía y aprendizaje inductivo.

- En las rutinas de aprendizaje, el conocimiento es directamente aportado y memorizado. No se necesita la participación del que aprende.**
- El aprendizaje oral está basado n la adaptación del conocimiento desde la fuente, a una forma que puede ser aceptada y utilizada. El que aprende puede intervenir en algunos casos, pero a mayoría de ellos son responsabilidad del tutor.**
- El aprendizaje por analogía consiste en adquirir nuevo conocimiento mediante la realización de tareas en circunstancias similares. Esta clase de aprendizaje requiere más intervención por parte del que aprende.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **El aprendizaje por inducción está más próximo a aprender mediante ejemplos y mediante observación.**

En los métodos de aprendizaje, las reglas de inducción a partir de los ejemplos, parecen ser prácticamente las únicas que se utilizan en el área de los sistemas expertos. Sin embargo existen otras ayudas para apoyar a la ingeniería del conocimiento: estudiaremos algunas de ellas:

Debería ser tenido en cuenta que el aprendizaje por inducción el que aprende puede tomar sólo los ejemplos positivos o ambos, los ejemplos positivos y los negativos. Uno de los caminos más importantes de métodos categóricos del aprendizaje inductivo está basado en las descripciones posibles.

- **De este modo, la meta de aprendizaje podría ser acoplada en “descripción característica” en la cual un conjunto de ejemplos son descritos de tal manera que se distinguen de todos los demás conjuntos posibles. Esta es la forma más simple para el aprendizaje inductivo. Este método bien conocido de descripción característica sido desarrollado en Winston (1975). En este trabajo el concepto de próxima pérdida como ejemplo negativo y muchos otros fueron introducidos.**
- **Otra meta del aprendizaje es acercarse a la “*descripción discriminante*”. En ese caso, e da un conjunto de ejemplos y una familia estable de otros conjuntos de ejemplos, La tarea es describir el conjunto de tal manera que se distinga de cualquier otro conjunto dado por la familia de conjuntos. Entre las más importantes contribuciones deberíamos ver los algoritmos basados en AQ por Michalski y ID3 por Ross Quilan (1983).**
- **Por último, puede señalarse como meta del aprendizaje que todavía no se ha alcanzado, la “*descripción taxonómica*”**

El problema es clasificar un conjunto de ejemplos en subclases satisfaciendo algún criterio. Recientemente, el método mas utilizado es “conceptual clustering”, donde conjuntos de ejemplos son clasificados en clases de acuerdo a diversos criterios. METADENDRAL pertenece a esta área. Nótese que encontrar descripciones características o descripciones discriminantes constituyen aprendizaje mediante ejemplos, mientras que la determinación del “conceptual clustering” pertenece a los métodos de aprendizaje por observación.

Dos aproximaciones son utilizadas en el aprendizaje inductiva para control de estrategias:

- i) **El primero es el “bottom –up” o “data-driven approach”, cuyos ejemplos son descritos consecutivamente, en un número de pasos y**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- sus descripciones, de manera más precisa después de cada paso, son producidas al mismo tiempo.**
- ii) **El segundo es “top-down” o “model-driven”, donde el conjunto de posibles descripciones es alcanzado por pocas descripciones óptimas.**

La primer aproximación es representada por métodos de Winston o Quinlan. La segunda aproximación es usada en METADENDRAL.

Los sistemas de aprendizaje taxonómico no siguen aún el tipo de conocimiento adquirido. La manera más popular es adquirir reglas de producción. Un ejemplo de sistema de aprendizaje para generar árboles de decisiones ID3. En un árbol de decisión los nodos corresponden a los atributos y las hojas a los valores de los atributos. Otras posibilidades incluyen aprendizaje de redes semánticas, frames y clasificaciones.

4.1.3.- Técnicas de aprendizaje automático.

Consisten en enfrentar al ordenador con los datos, de modo que el propio ordenador extraiga el conocimiento. En estas técnicas, el experto pasa a un segundo plano, ya que éste proporcionará en algún momento el conocimiento, y ahí termina su función. Está organizadas de la siguiente manera:

- **APENDIZAJE DE MEMORIA:** Supone introducir al ordenador el conocimiento representado por el objeto. Aquí el ordenador no aprende nada, sol almacena datos. Es el paso siguiente natural a las técnicas interactivas manuales.
- **APRENDIZAJE POR RELATO:** El ordenador *aprende* el conocimiento introducido en el aprendizaje de memoria, es decir, después de haberle introducido los datos al ordenador, éste los procesa, produciendo su propio conocimiento.

ejemplo: **Supongamos el siguiente conocimiento:**
“La nieve es blanca”

Esto puede expresarse por un par (objeto-atributo), que en este caso sería (objeto-color).

A su vez, también podría representarse como

cuádruplas – con bit de paridad- :

((0,0001), (1,0001))

- **El aprendizaje de memoria sería introducir al ordenador este par de cuádruplas, que representan “la nieve es blanca”.**
- **El aprendizaje por relato consistiría en construir una interface entre una persona y el ordenador, de modo que éste al ver “la nieve**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

**es blanca, sea capaz de distinguir en esas tuplas las palabras claves-
nieve y blanca- y sea capaz de entenderlas y procesarlas.**

- **APRENDIZAJE A PARTIR DE EJEMPLOS:** La idea sería darle al ordenador, por ejemplo, positivos y negativos de lo que se quiere representar, y a partir de ahí, se pretende que el ordenador sea capaz de realizar el aprendizaje que necesite.

Los ejemplos corresponden a observaciones de los que el experto hizo, o que clase de acciones fue tomada en situaciones específicas. Por ello este aprendizaje se le llama también supervisado o con maestro. Por tanto se le van dando tanto los datos como la estructura de los mismos, y con ambos el ordenador obtendrá las conclusiones, de las que se extraerá el conocimiento.

Se hará a partir de una base de datos, es decir, registro de datos de donde hemos de sacar el conocimiento. En ella, los valores de los atributos son determinados por los valores de “variables de decisión”, llamadas *decisiones*. para ello hemos de hacer:

- Identificar atributos y valores.**
Ejemplo: enfermedad-síntomas
- Construir las tablas específicas o árboles de decisión**
Ejemplo: Si un niño tiene “pintas” en la cara será:
 - Varicela
 - SarampiónDescartándose ya cualquier otra posibilidad.
- Construir la base de conocimiento**

Se debería clarificar como se han de entender los ejemplos. Para esto se introduce el concepto de TABLA DE DECISION, que veremos posteriormente.

- **APRENDIZAJE POR OBSERVACION:** Se introducen los datos sin decir si son positivos o negativos, y el ordenador debe concluir en un conocimiento adquirido. Esta técnica se base en el llamado conductismo, es decir, a partir de una observación podemos deducir una teoría, que después de observaciones posteriores, podremos determinar si es una teoría *constructiva* o *destructiva*, según las observaciones afirmen o nieguen respectivamente dicha teoría.

4.1.3.1.- Tabla de Decisión.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El punto de comienzo para aproximarnos a un algoritmo inductivo es la tabla de decisión. Dicha tabla puede ser el resultado del protocolo del experto, la recuperación de información de una base de datos, o solamente la observación de nieguen para algunos peovesos.

Ejemplo 1: Los pacientes x_1, \dots, x_n se sometieron todos al mismo test a_1, \dots, a_i (p.e. presión de la sangre, glucosa, temperatura, etc...), y clasificados por varios médicos como candidatos para distintas enfermedades b_1, \dots, b_j (p.e. diabetes, etc.....)

Ejemplo 2: Un proceso industrial (p.e. una fábrica de azúcar). En los momentos t_1, \dots, t_n , con los parámetros a_1, \dots, a_y (pe. temperatura, presión, concentración, etc...) y operadores de acción b_1, \dots, b_j (cambio de valor del vapor, etc...) son registrados.

Los test o parámetros a_1, \dots, a_i de la tabla de decisión se llaman **ATRIBUTOS**, mientras que las enfermedades y operadores de acción b_1, \dots, b_j se llaman **DECISIONES**. Un atributo o decisión "q" puede aceptar algunos conjuntos de valores. Ese conjunto es llamado el dominio de "q".

Cualquier conjunto original de valores para cualquier atributo puede ser cuantificado por expertos, teniendo en cuenta que hoy ellos toman sus decisiones.

Ejemplo: En los resultados de una prueba glucosa, ésta puede ser clasificada de bajo, normal, alto o muy alto nivel de azúcar en la sangre. Así cuatro diferentes niveles son distinguidos

Igualmente, las decisiones pueden tener un número definido de niveles. Un paciente puede ser clasificado como libre de algún mal, en un nivel moderado de ello, en un nivel severo, o en un nivel muy severo (la cantidad de niveles puede diferir).

Se debería notar que los conceptos de tabla de decisión y el concepto de una base de datos, aunque similares, no son idénticos: Una tala de decisión puede consistir en filas duplicadas marcadas por las dos diferentes entidades x e y. Esto significa que para cualquier atributo o decisión q, ambas entidades x e y, tiene valores idénticos. Tal situación no es permitida en una base de datos. En tablas de decisión es bastante normal. Una gran cantidad de pacientes pueden tener los mismos resultados de pruebas y estar clasificados en el mismo nivel de enfermedad. Igualmente, acciones de operador lógico y de parámetros de proceso, registradas en diferentes momentos, pueden ser iguales, con la misma precisión, siguiendo la cuantificación.

4.2.- Adquisición de conocimiento bajo indecisión.-

La elección de un mecanismo para tratar la incertidumbre debe hacerse pronto, dentro del proceso de adquisición de conocimiento. La única ayuda par ala

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

ingeniería del conocimiento se puede conseguir haciendo que esta decisión sea tan próxima a tantas teorías de tratamiento con incertidumbre como sea posible, con sus ventajas y desventajas.

Incluso en el caso de construir sistemas expertos sin ningún mecanismo de tratamiento con incertidumbre, la existencia de metodologías no nos da ninguna respuesta a la pregunta de cómo elegir una representación el conocimiento.

Ejemplo: **Si representamos el conocimiento directamente por reglas de producción, mezclando representaciones de reglas de producción organizadas en redes semánticas, o por alguna Otra mezcla de representación similar.**

Hay una pequeña ayuda disponible para decidir que herramientas deberían ser seleccionadas para desarrollar un sistema experto, incluso con respecto a la decisión preliminar de usar un lenguaje de programación general o un lenguaje de ingeniería del conocimiento, y si es así que productos comerciales existen. Por razones obvias los desarrolladores intentarán vender su producto.

No hay acuerdo entre los grupos de investigación competitivos, incluso cuando hay ventajas y desventajas en la existencia de teorías para el mantenimiento de la incertidumbre. El proceso de adquisición de conocimiento no es objetivo. La elección del camino para el tratamiento con incertidumbre, es en la mayoría de los casos, una decisión subjetiva de la ingeniería del conocimiento. Una vez que la decisión está hecha, el resto de la adquisición del conocimiento se basa en ella. En particular, si la ingeniería del conocimiento hubiera aceptado una decisión diferente, se debería preguntar al experto en diferentes cuestiones.

Uno de los procedimientos más detallados para codificación de probabilidades, basado en entrevistas estructuradas, fue descrito en Merkhofer 1987. La principal suposición que hace es que los valores de las probabilidades subjetivas no pueden ser obtenidos directamente del experto, a causa de las tendencias que la acompañan. Estas tendencias son introducidas mediante métodos de razonamiento por el experto, individualmente, o por mecanismos para sonsacar probabilidades subjetivas de múltiples expertos. El procedimiento consta de siete pasos:

- **Motivación**
- **Estructuración**
- **Condicionamiento**
- **Codificación**
- **Verificación**
- **Agregación**
- **Discretización**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El primer paso es MOTIVACION, en el cual la ingeniería del conocimiento evalúa y extrae tendencias del razonamiento del experto. Dos tendencias son particularmente importantes: la tendencia de la organización, la cual puede ser ejemplificada por deseos organizativos confusos y metas con prácticas, y la tendencia experta, que quiere decir que el conocimiento del experto no debería ser incierto.

En el segundo paso, ESTRUCTURACION, las variables esenciales cuya incertidumbre debe ser evaluada, son seleccionadas y las suposiciones sobre variables son exploradas.

En el tercer paso CONDICIONAMIENTO, la ingeniería del conocimiento discute el conocimiento experto sobre las variables.

El paso cuarto, CODIFICACION, cuantifica la incertidumbre asociada a las variables. Una gran variedad de técnicas pueden ser usadas para este propósito. El experto podrá decir cuales son los valores de las variables para probabilidades fijas, decir cuales son las probabilidades para valores fijos de las variables, o decir ambas cosas. Las preguntas para las probabilidades, pueden ser hechas directamente o indirectamente, dependiendo de la mejor posibilidad.

El quinto paso es VERIFICACION, para estar seguro de que el experto cree en las posibilidades dadas.

El siguiente paso, AGREGACION, es ejecutado en caso de la intervención de múltiples expertos. En este paso se agregarán las probabilidades individuales.

El último paso es DESCRETIZACION O CUANTIFICACION. El rango de valores de una variable es seleccionado en un intervalo, y entonces la probabilidad, cuyo valor actual es cogido del intervalo, es asignada a ese punto.

4.3.-Representación del conocimiento.-

Lo que se pretende es encontrar una forma de representación del conocimiento que sea inteligible para el ordenador, y que también pueda usarse posteriormente en términos de inferencia.....

El proceso a seguir es:

- 1.- **IMÁGENES MENTALES**
- 2.- **REPRESENTACION HABLADA**
- 3.- **REPRESENTACION ESCRITA**
- 4.- **CADENA DE CARACTERES.**
- 5.- **CADENA BINARIA**
- 6.- **MEMORIA**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Donde los pasos 1 al 3 constituyen la fase de *adquisición* (donde el experto nos revela sus imágenes mentales, primero en lenguaje natural y posteriormente en lenguaje escrito), los pasos 3 al 5, la fase de *representación* (en el paso 5 se deba pasar el conocimiento a una forma inteligible por el ordenador, de forma que el ordenador con este conocimiento pueda tener actuaciones “inteligentes”), y los pasos 5 al 6 darán lugar a la *implementación* de dicho conocimiento.

A la hora de la representación del conocimiento, se han de tener en cuenta tres cosas:

- **Ver el modelo de representación a utilizar.**
- **Ver el lenguaje de representación que se va a usar, para representar el modelo anterior en forma de cadena de caracteres.**
- **Ver el lenguaje de programación que se va a utilizar.**

4.3.1.- Modelos de representación.-

En el momento de decidir el modelo a utilizar, he de sopesar si me interesan más las propiedades, o los objetos que poseen esas propiedades, ya que dependiendo de ello, serán modelos diferentes.

Ejemplo: **En la Universidad podemos encontrarnos:**
- **Expedientes: donde la entidad será el alumno y las Asignaturas que estudia serán atributos.**
- **Listas: donde la entidad será la asignatura, y los alumnos matriculados en ella, los atributos.**

Desde el punto de vista conceptual, el mayor paso está en ver si el modelo va a ser *declarativo* o *procedural*.

A) **MODELOS DECLARATIVOS: En ellos debo saber qué campo del mundo estoy describiendo. Hay varios tipos de modelos declarativos.**

A.1) **Modelo lógico.-**

Es el modelo a utilizar cuando lo que estamos describiendo es puramente descriptivo (un objeto y sus características). Fue propuesto por Aristóteles en su “Cálculo de Proposiciones”, aunque es un modelo poco formalizado (no analiza operadores....)

Aristóteles comprobó que la comprensión de todo lo que nos rodea, se debe a dos hechos:

a) **El *asociacionismo*, que permite llegar a conceptos complejos a través de otros más simples.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

b) B) La *segmentación*, que permite a los conceptos dividirse en otros más simples.

La formulación central de este modelo comprende a Russel-Whitehead con su libro “Principios Matemáticos”, que trataba de formular los principios lógicos que subyacen en las Matemáticas.

El modelo lógico es un problema de computabilidad, de decidibilidad sobre la verdad o falsedad de una proposición. Con este modelo queremos hacer compatibles todos los objetos mediante el lenguaje de la lógica.

Con todo la lógica tiene sus ventajas y sus inconvenientes:

*** Como VENTAJAS, cabe destacar:**

- **Se trata de un lenguaje bastante bueno, ya que es completo (mediante la deducción puedo llegar a todos los teoremas posibles).**
- **Es un lenguaje poco estructurado, lo cual le da facilidad de manejo, permitiendo cambiar la base de conocimiento de manera muy fácil.**
- **Tiene unas poderosas reglas de inherencia (Teoría de la Deducción).**

*** Como INCOINVENIENTES destacaremos:**

- **El hecho de ser poco estructurado se convierte en inconveniente, ya que reduce su capacidad de expresión: no permite extraer relaciones entre elementos o hacer conclusiones cruzadas (es decir, encadenar conocimientos).**
- **Es difícil expresar con el metaconocimiento o heurísticas, ya que ambas tiene la característica de no ser verdaderas o falsas de forma total, sino que pueden ser cumplidas en cierto grado (probabilidades...), y esto es algo que no contempla la lógica, que siempre hará las proposiciones verdaderas o falsas.**
- **Es monótona: si añadido un axioma más, todos los axiomas que tenía de antes seguirán manteniendo su valor de verdad o falsedad (no permite actualizar la base de conocimiento). Por tanto la lógica básica no contempla la probabilidad, posibilidad o la lógica multivaluada, que ampliará el campo de actuación de la lógica clásica. Tampoco permite expresar conocimiento de forma dinámica (conocimiento cambiante), aunque podría llegar a hacerse.**
- **Otro inconveniente es que la lógica es semideducible, es decir, no existe ningún algoritmo al que dándole un conjunto de axiomas, sea capaz de decir si un teorema es deducible o no. La única forma de hacerlo es tomar los axiomas y combinarlos, y si no consigo deducir el teorema, no puedo asegurar que el teorema no sea deducible, sino que yo no he sido capaz de hacerlo.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

A.2) Redes semánticas.-

Surgen como una alternativa a las lógicas. Fueron ideadas por Quinlan, y se trata de grafos orientados que sirven para representar el conocimiento de forma que :

- los **NODOS** están asociados a los *objetos*.
- Los **ARCOS** lo están a las *relaciones entre objetos*.

Aquí, la mayor segmentación que existe es llegar a un objeto concreto de una categoría concreta, consiguiéndose dicha segmentación a través de los arcos.

La idea de representación y asociacionismo se representa en los arcos mediante tres tipos de relación:

- **Inclusión-----→ segmentación**
- **Pertenencia-----→ segmentación**
- **Con papeles-----→ asociacionismo.**

La pertenencia se refiere a objetos concretos dentro de una clase, es decir, para un nivel último en la segmentación.

La principal VENTAJA de las redes semánticas es ser un modelo estructurado. En cuanto a los INCONVENIENTES podemos destacar:

- Los nodos quedan ambiguamente determinados, y no se permiten tener características de ellos (no tiene contenido, simplemente se guardan como etiquetas).
- No permite trabajar bien con las excepciones, al igual que pasaba en la lógica clásica.

A.3) Frame.-

Minsky introdujo el concepto de frame, ya que llegó a la conclusión de que para describir un objeto no se hacían las asociaciones entre conceptos de manera tan radical como promulgaban las redes semánticas, sin que cuando describimos un objeto, lo estamos haciendo sobre un *estereotipo* de ese objeto: para que un objeto sea de un tipo, ha de tener las mismas características que su estereotipo correspondiente.

Un FRAME es una especie de ficheros con una especie de ranuras, donde cada ranura representa un *atributo* y cuando dicho fichero se llena, tendremos un ítem completo.

- * **Las principales VENTAJAS del frame son:**
- **Eliminan la ambigüedad presentada por las redes semánticas, ya que cuando tengamos el frame completo, tendremos un objeto perfectamente definido y totalmente distinguible de otro. La**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

ambigüedad existente en las redes semánticas e debe a la falta de contenidos de los objetos- serán únicamente nodos de la red –que aquí se ve resuelto con los atributos del frame.

Ejemplo: **PERRO**

Nombre
edad
propietario
raza
animal
vertebrado

.....

- **Los frames pueden tener estructura jerárquica, desde el mismo momento en que una ranura del frame esté rellena con otro frame.**
- **Permite poner condiciones genéricas (por defecto).**

Ejemplo: **Supongamos que tenemos la siguiente proposición:**

“Un hombre tiene dos piernas”

Si me encuentro un ser con una sola pierna, o no

Será un hombre , o será una excepción.

- **Permite hacer inferencias existenciales parciales, es decir, posee un estereotipo que permite sustituir valores que no conozco por valores que tengo por defecto.**
 - **Como INCONVENIENTES destacaremos:**
- **a pesar de ser una buena forma de representación, no tiene un buen lenguaje de representación asociado, que no sena los ficheros relacionados entre sí.**
- **Son difíciles de manejar desde el punto de vista computacional.**

Los tres modelos de representación vistos hasta ahora son declarativos, aunque el frame permite trabajar dentro de él con procedimientos, mediante los que llama “attached demons” (demonios asociados).

B) REGLAS DE PRODUCCION: Se trata de un modelo a mitad de camino entre los modelos declarativos y los procedurales, y que se ajusta a la forma de razonamiento humano.

- Una típica representación de estas reglas es:
If ANTECEDENTE then CONSECUENTE**
- Se pueden utilizar métodos puramente *deductivos*:
If CAUSA then EFECTO**
- Si utilizamos métodos *inductivos* o *abductivos* será:**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

If EFECTO then CAUSA

En este caso se va, de una evidencia, a una de sus posibles causas.

Esto, que está expresado de forma descriptiva, se puede poner también de forma procedural:

If CONDICION then ACCION

• **Las principales VENTAJAS de las reglas de producción son:**

- **Es un método muy potente, y muy parecido al razonamiento humano.**
 - **Son muy fáciles de manejar y representar, pudiendo hacerse muy bien con listas encadenadas. Por ello se ha utilizado mucho: la mayor parte de los sistemas expertos de diagnóstico se basan en reglas (se suelen programar en LISP, lenguaje muy apropiado para esta estructura).**
 - **Permiten expresar heurísticas y metaconocimiento.**
- * **En cuanto a los INCONVENIENTES diremos:**
- **Se trata de un método muy poco estructurado, al parecerse mucho a la lógica.**
 - **No permite expresar todo el conocimiento puro.**

C) MODELOS PROCEDURALES: Si el modelo es procedural, normalmente se tratará de conocimiento relacionado con acciones. Básicamente tenemos dos modelos de este tipo:

C.1) Guiones.

Son una sucesión de dinámica de frames y procedimientos. Se trata de un método puramente procedural, ya que, partiendo de unas premisas, se lanza el resto del conocimiento (una sucesión de consecuencias).

Ejemplo: Si tenemos la siguiente afirmación:

“Entré en el restaurante, pedí un filete, pague y me fui”

Se supone que, aunque no esté implícito, que lo pedí, me senté, me lo Comí,...es decir, una sucesión de consecuencias de manera dinámica.

Se trata de un método poco desarrollado.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

C.2) Programación orientada a objetos.-

Es un método muy similar a los guiones, pero más desarrollado y avanzado. Se puede decir que son los SHELL de los guiones. Aquí los procedimientos dependen de los objetos.

No existe el método universalmente válido para representar cualquier tipo de conocimiento. Se suelen, para ello, utilizar mezclas de modelos para adecuarlos a conocimiento a representar.

4.3.2.- Lenguaje de representación.-

El siguiente paso es plasmar el modelo en un lenguaje de representación.

Si lo que estoy utilizando es un *modelo declarativo lógico*, lo más adecuado sea representarlo utilizando el propio lenguaje de la lógica. Sin embargo, para una *red semántica* no está tan claro.

Si hubiera elegido el lenguaje de la lógica, hubiera hecho una serie de predicados, pero ya habría desestructurado la información que tenía, información que podré volver a utilizar usando inferencia. Por tanto, si ni elijo bien el lenguaje de representación puedo estropear las propiedades del modelo.

La forma de escribir las *reglas de producciones* casi infinita, aunque lleve innato un lenguaje condicional. El único modelo de representar “si-entonces” es mediante el operador implicativo “ \Rightarrow ”, lo cual nos desliga del significado natural intuitivo condicional.

TEMA 2: CARACTERÍSTICAS Y ESTRUCTURAS DE UN SISTEMA EXPERTO.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- DEFINICION DE UN SISTEMA EXPERTO.-
 - 2.1.- HISTORIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS
 - 2.2.- TIPOS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS
- 3.- CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.-
 - 3.1.- EL ELEMENTO HUMANO EN LOS SISTEMAS EXPERTOS.
 - 3.2.- FORMA DE TABAJO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.
 - 3.3.- BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.
 - 3.4.- PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.
 - 3.4.1.- Tareas representativas de los sistemas expertos y sus Dificultades.
 - 3.4.2.- Errores en los sistemas expertos.

- 1.- INTRODUCCION.-

Este capítulo describe los principales desarrollos en Inteligencia Artificial que han llevado al énfasis actual en sistemas expertos basados en conocimiento y su

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

correspondiente campo en Ingeniería de Conocimiento. Las máquinas que carecen de conocimiento parecen condenadas a desempeñar tareas intelectualmente triviales. Aquellas que poseen conocimiento y lo aplican habitualmente ç, parecen capaces de igualar o sobrepasar la ejecución de los expertos humanos. El conocimiento proporciona el poder para trabajar. La ingeniería del conocimiento es la tecnología que promete hacer del conocimiento una mercancía industrial valiosa.

La inteligencia Artificial ha logrado un considerable éxito en el desarrollo de sistemas expertos desde mediados de los 60. Esta área de Inteligencia Artificial ha centrado en la construcción de programas de alto rendimiento en dominios profesionales especializados, búsqueda que ha alentado un énfasis en el conocimiento, que es la razón fundamental de la experiencia humana y que ha disminuido simultáneamente la importancia aparente de la teoría de solución de un problema independientemente del dominio. Un nuevo conjunto de principios, unas herramientas, y unas técnicas han emergido formando las bases de la Ingeniería del conocimiento.

El área de sistemas expertos investiga métodos y técnicas para la construcción de sistemas de hombre-máquina con experiencia para resolver problemas específicos.

- **La experiencia consiste en el conocimiento acerca de un dominio particular, emprendiendo el dominio del problema, así como habilidad para resolver algunos de estos problemas.**
- **El *conocimiento* en cualquier especialidad es generalmente de dos clases : público y privado.**
 - i) **El conocimiento público incluye las definiciones publicadas, los hechos, y las teorías que los libros e texto y las referencias en el dominio del estudio están compuesto típicamente. Pro la experiencia involucra generalmente algo más que este simple conocimiento público.**
 - ii) **Los expertos humanos generalmente poseen conocimiento privado que no lo han encontrado en la literatura publicada. Este conocimiento privado consiste principalmente en reglas empíricas que son llamadas “heurísticas”. La heurística permite al experto humano a hacer conjeturas encaminadas, cuando es necesario, a reconocer enfoques prometedores a problemas, y tratar, de manera efectiva, información con abundancia de errores o incompleta. Aclarar y reproducir tal conocimiento es la tarea central para la construcción de sistemas expertos.**

Los investigadores en este campo sugieren varias razones para su énfasis en el conocimiento mismo más que en métodos de razonamiento formales:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **Primero, la mayoría de los problemas difíciles e interesantes no tienen soluciones algorítmicas sencillas ya que muchas tareas importantes se originan en contextos sociales o físicos complejos, que se resisten normalmente a descripciones precisas y análisis rigurosos. Razonamientos legales, diagnósticos médicos, exploraciones geológicas, y análisis de situaciones militares son ejemplos de estos problemas. Aún más, a métodos contemporáneos de razonamiento simbólico y matemático, los cuales han limitado la aplicación al área de los sistemas expertos, no proporcionan medios para representar conocimiento, describir problemas en niveles múltiples de abstracción, asignar recuerdos para solucionar problemas, controlando procesos cooperativos, y fuentes diferentes de integración de conocimiento en inferencia. Estas funciones dependen principalmente de la capacidad para manipular descripciones de problemas y para aplicar selectivamente piezas relevantes de conocimiento. Las matemáticas actuales ofrecen una pequeña ayuda en tales tareas.**
- **La segunda razón para el énfasis en el conocimiento más que en métodos de razonamiento formales, es pragmática: los expertos humanos logran muy buenos resultados porque poseen conocimiento. Si los programas de computadoras encarnaran y utilizaran este conocimiento, entonces, también deberían lograr altos niveles de desarrollo. Esto ha demostrado ser cierto repetidamente en la corta historia de los sistemas expertos. Los sistemas han logrado niveles expertos en varias tareas: prospecciones minerales, configuración de la computadora, elucidación de estructura química, matemáticas simbólicas, etc..**
- **La tercera razón para centrarse en el conocimiento reconoce su valor intrínseco. El conocimiento es un recurso escaso cuyo refinamiento y reproducción crea riqueza. Tradicionalmente la transmisión de conocimiento del experto humano a la persona en adiestramiento, ha requerido educación en largos años de internado. La extracción del conocimiento de los humanos para ponerlo en formas calculables puede reducir en gran manera los costos de reproducción y explotación del conocimiento. Al mismo tiempo el proceso de refinamiento del conocimiento puede ser acelerado haciendo disponible el conocimiento privado**
PARA PRUEBA Y EVALUACIÓN PÚBLICA.

En resumen, la capacidad del experto depende enormemente del conocimiento experto. Debido a que el conocimiento es el ingrediente clave para resolver

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

problemas importantes, éste tiene las características propias de un bien escaso: Justifican operaciones mineras posiblemente caras, requieren tecnologías eficientes y efectivas para formar productos, y proporcionan los medios para reproducir sintéticamente un sueño resulta cierto.

Los sistemas expertos difieren en modos importantes, tanto de los sistemas de procesamiento de datos, como de los sistemas convencionales desarrollados en otras ramas de la Inteligencia Artificial.

A diferencia de los sistemas de procesamiento de datos tradicionales, las aplicaciones en Inteligencia Artificial involucran generalmente varios caracteres distintivos, que incluyen representación simbólica, inferencia simbólica, y búsqueda heurística. En realidad, cada uno de estos corresponden a un bien estudiado núcleo tópico dentro de Inteligencia Artificial, y una tarea de la Inteligencia Artificial simple frecuentemente otorga uno de los enfoques formales desarrollados por estos núcleos de problemas. Pero los sistemas expertos difieren con una gran parte de tareas de la Inteligencia Artificial simple frecuentemente otorga uno de los enfoques formales desarrollados por estos núcleos de problemas. Pero los sistemas expertos difieren una gran parte de tareas de la Inteligencia Artificial en varios puntos:

- i) Primero, desempeñan tareas difíciles en niveles expertos de desarrollo.**
- ii) Segundo, enfatizan estrategias de dominio-especificación solucionando problemas sobre los más generales “métodos débiles” de Inteligencia Artificial (1969 DE NEWELL)**
- iii) Tercero, emplean su propio conocimiento para razonar sobre su propia causa, procesando y proporcionando explicaciones o justificaciones sobre las conclusiones alcanzadas.**
- iv) Y por último, resuelven problemas que caen generalmente en una de las siguientes categorías: interpretación, predicción, diagnóstico, puesta a punto, diseño, planificación, visualización, reparación, instrucción y control.**

Como resultado de estas distinciones, los sistemas expertos representan un área de investigación de la Inteligencia Artificial que involucra paradigmas, herramientas y estrategias de desarrollo de sistema. Es el único área dentro del campo de la joven Inteligencia Artificial que tiene un conjunto de aplicaciones exitosas y es, por lo tanto, el área con más inmediata significación y para industria y gobierno. Una lista parcial de sus aplicaciones incluyen. Hasta la fecha, los siguientes:

- PROSPECTOR ha descubierto un depósito de molibdeno cuyo valor definitivo excederá probablemente a los 100.000.000 dólares (correspondencia personal, JHON GASCHNIG, SRI INTERNACIONAL)**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **R1 configura solicitudes de cliente para sistemas de computadoras VAX en DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION, a pesar del hecho de que hasta los expertos residentes pensaban que no podría hacerse (1981 de Mcdemott).**
- **DENDRAL que años atrás demostró su gran capacidad, soportó a cientos de usuarios internacionales a diario, en elucidación de estructuras químicas (1980 de LINDSAY).**
- **CADUCEUS contiene más conocimiento de medicina interna que cualquier humano y puede diagnosticar correctamente casos complejos que desechan los expertos humanos (POPLE, MYERS y 1975 DE MILLER; 1981 de POPLE; MILLER, POPLE y 1982 de MYERS).**
- **PUFF integró conocimiento en la enfermedad de función pulmonar con un sistema experto de dominio independiente y previamente desarrollado para diagnóstico de consultas y ahora proporciona análisis de expertos en un centro médico de California (1977 de FEINGEBAUM).**

Estas y otras realizaciones indican que en el campo de los sistemas expertos está madurando rápidamente. Las bases científicas y técnicas que sostiene este campo, sin embargo han logrado solamente un limitado desarrollo. Cada nueva aplicación requiere un trabajo creativo y desafiante, aunque han surgido algunos principios y sistematizaciones. En este punto, los sistemas expertos son un campo altamente experimental con poca teoría general. No obstante, los principales problemas han salido a la superficie y numerosas herramientas y técnicas que existen ahora se pueden transferir de una aplicación a las siguientes.

Los sistemas expertos se diferencian de otros sistemas computerizados principalmente en su habilidad para razonar y explicar. Mientras que en otros sistemas el conocimiento y el método para utilizarlo están entremezclados en los sistemas expertos, ambos están separados. La base de conocimiento es manipulada por separado, identificándose claramente el mecanismo de control (la máquina de inferencia). Así, la información se incorpora al sistema experto de modo tal, que el nuevo conocimiento puede estar añadido sin programar extensivamente.

El sistema experto se enfrenta a un largo periodo prometedor camino. La tecnología del sistema experto apunta a crear medios para capturar, abastecer, distribuir y aplicar conocimiento electrónicamente. Aunque las primeras aplicaciones demostraron la factibilidad e importancia económica de este trabajo, también revelaron el enorme tamaño del campo de aplicaciones potenciales.

El desarrollo de computadoras inteligentes ha sido un sueño de los científicos casi desde que la primera computadora fue construida. Este sueño se está ahora

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

materializando a través del uso de la Inteligencia Artificial en sistemas expertos. Modelados a partir de los expertos humanos, los sistemas expertos utilizan sofisticadas como resolvedores de problemas y vastos almacenes de conocimiento para resolver problemas complejos, especialmente en dominios estrechos donde la experiencia está bien descrita. En contraste a otras ayudas computerizadas de decisión, los sistemas expertos dibujan las conclusiones principalmente a través de inferencia lógica o plausible, más bien que por cálculos.

La primera generación de sistemas expertos razona mediante reglas de experiencia y ha sido aplicada principalmente en medicina, aplicaciones militares, ingeniería y ciencias físicas. Se desarrollaron un limitado número de aplicaciones para negocios (p.e, contabilidad, financia, planificación estratégica). Actualmente, sin embargo, presenciamos la construcción de sistemas de negocios.

El futuro para los sistemas expertos es verdaderamente brillante; presentan parte de los mecanismos para inteligencia humana. Ya, las máquinas pueden desempeñar funciones tan bien como las personas en un sentido limitado. Aún más, muchas máquinas pronto poseerán vista, tacto, oído y habla imitando así la capacidades sensoriales de los humanos así como sus habilidades de razonamiento.

Pero todas las áreas del proceso de pensamiento humano -voluntad, emoción, unos creativos de error –se encuentran aún muy alejadas de la capacidad de la computadora., Los científicos están aún lejos de objetivo definitivo: una computadora basada en la analogía del cerebro humano.

En el presenta un objetivo mayor es construir sistemas expertos de una calidad satisfactoria en un tiempo razonable y con un costo razonable. Este objetivo es alcanzable con ayuda de varias herramientas empleadas en un proceso sistemáticos.

2.- DEFINICION DE SISTEMA EXPERTO..

El nombre de SISTEMAS EXPERTOS deriva del término “sistemas expertos basados en conocimiento”. Un sistema es un sistema que emplea conocimiento humano capturado en una computadora para resolver problemas que generalmente requieren experiencia humana.

Well diseñó sistemas que imitaban los procesos de razonamiento en resolver problemas específicos.

También podían ser utilizados por personas no expertas para mejorar sus habilidades en la resolución de problemas. Del mismo modo, son también utilizados por expertos como ayuda a su conocimiento. Una de sus principales utilidades es propagar recursos de conocimiento escasos, Para mejorar así

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

resultados consistentes. Finalmente, tales sistemas pueden funcionar mejor que un único experto humano al hacer juicios en una experiencia generalmente limitada, en un área específica (referida a un dominio). Esta posibilidad puede tener un impacto significativo tanto en profesionales asesores (analistas financieros, abogados, consejeros de impuestos etc.) como en organizaciones y administración.

2.1.- Historia de los sistemas expertos.-

Desde la época de los 50 se está planteando la pregunta de “sí los ordenadores piensan”, o si tienen, o pueden llegar a tener una “conducta inteligente”. Pero estas dos afirmaciones, incluso actualmente, son difíciles de definir; hoy por hoy se considera como conducta inteligente capacidad de interpretar y razonar en términos de lenguaje natural.,

Los años 60 son un punto de inflexión en esta pregunta, debido a que Newell y Simon construyen un programa llamado “Logic Theorist” capaz de hacer cálculo simbólico, es decir partiendo de datos en forma de axiomas, llegar a formular y a demostrar teoremas y silogismos,. Es a partir de este punto cuando empieza a tomar cuerpo la idea de la Inteligencia Artificial.

Newell y Simon siguieron profundizando sobre esta idea, y llegaron a la conclusión de que con esta filosofía podría llegar a resolver cualquier problema, simplemente dando al programa unas nociones del dominio en el que se desarrolle el problema, creando así un resolvidor de problemas de propósito general, al que se llamó GPs (General Problem Software).

El resolvidor de problemas de propósito general (GPS) es un procedimiento desarrollado por Newell y Simon en su “Máquina de Teoría Lógica”, en un intento crear una computadora “inteligente”. Así, puede estar considerado como un predecesor de los sistemas expertos.

GPS intenta llevar a cabo los pasos necesarios para cambiar una cierta situación inicial en un estado objetivo deseado. Para cada problema, GPS da un conjunto de declaración de que “precondiciones” necesita cada operador para ser verdadero, y una lista de “postcondiciones” que serán verdaderas después de que el operador haya sido utilizado Tiene también un conjunto tonal de heurísticas para operadores, a intentar primero. En términos de sistemas expertos, éstas forman una *base de reglas*.

GPS intenta encontrar operadores para reducir la diferencia entre un objetivo y los estados actuales. A veces, el operador no puede operar en los estados actuales (sus precondiciones no son apropiadas). En tales casos, GPS sitúa un mismo subobjetivo:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Cambiar el estado actual a uno que es apropiado para los operadores. Gran parte de ese subjetivo tiene que ser establecido antes de que GPS pueda resolver un problema.

GPS, como varios otros programas similares, no cumplieron los sueños de sus inventores, ya que aunque funcionaba bien en ciertos dominios, podía decirse que, en general, no funcionaba. Sin embargo estos programas produjeron beneficios laterales extremadamente importantes.

Ejemplo: **Prolog está basado en el trabajo de Robinson del probador Automático de teoremas.**

También compiladores de Lisp y “recolectores de basura” (que se discutirán posteriormente) están basados en el trabajo en el área de la metodología del resolutor general de problemas.

La conmutación del propósito general a programas de propósito especial ocurrió a mediados y finales de los 60 con el desarrollo de DENDRAL (1969), por E. Feingbaum, en la Universidad de Stanford. En ese momento también se reconoció que el mecanismo resolutor de problemas es solamente una parte pequeña en un sistema de computación inteligente completo.

DENDRAL analiza masa espectrográfica, resonancia magnética nuclear, y otra información química experimental para deducir las estructuras posibles de mezclas desconocidas. DENDRAL emplea un variante eficiente de general y probar en su resolución del problema. Su generador puede enumerar cada posible estructura orgánica que satisface las restricciones aparentes en la información, generando sistemáticamente estructuras moleculares parciales consistentes con la información y elaborándolas entonces en todos los modos posibles, eliminando rápidamente infraestructuras no posibles y evitando de otra manera una búsqueda exponencial. Generando sistemáticamente todas las estructuras posibles, encuentra hasta aquellos candidatos que los expertos humanos pasan por alto ocasionalmente.

METAFENDRAL –variante del sistema experto DENDRAL-, añade conocimiento de análisis a DENDRAL proponiendo y seleccionando reglas de fragmentación parra estructuras orgánicas. Genera y prueba fragmentaciones posibles examinando información experimental, reteniendo aquellas reglas hipotéticas que se demuestren suficientemente valiosas. Una regla es valiosa si se aplica frecuentemente y predice fragmentaciones incorrectas muy raramente. DENDRAL sobrepasa a todos los humanos en su tarea, y como consecuencia, ha provocado una redefinición de los papales de los humanos y máquinas en investigación química.

La construcción de DENDRAL (uno de los dos primeros sistemas expertos que se construyeron), condujo las siguientes conclusiones:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **Los revolvedores generales de problemas son demasiado débiles para estar utilizados como base de alto rendimiento constructivo en sistemas expertos.**
- **Los revolvedores humanos de problemas son buenos solamente si se operaran en un dominio muy estrecho.**
- **Los sistemas expertos necesitan ser actualizados constantemente una nueva información. Así, llegaron a la conclusión de que los sistemas expertos tenían que ser contruidos modularmente, separando conocimiento de procedimiento, ya que se descubrió que DENDRAL no era capaz de ser ampliado para más productos que aquéllos piara los que fueron creados, sino que en este caso era necesario crear un DENDRAL adicional, con el nuevo conocimiento. Tal actualización puede ser hecha eficientemente con representación basa en reglas.**
- **La complejidad de los problemas requiere una considerable cantidad de conocimiento acerca del área de problema, y en los resolvedores generales de problemas se recortaba mucho el conocimiento frente al procedimiento, cuando lo importante es el conocimiento frente al procedimiento.**

Una de las principales contribuciones de DENDRAL al desarrollo de sistemas expertos fue la idea de utilizar reglas para la representación de conocimiento experto, idea muy arraigada en el desarrollo de sistemas expertos de entonces. También introdujo el concepto de control de búsqueda dirigida. Las reglas de heurística pueden inferir restricciones en la información de la estructura molecular de la masa espectrográfica, lo cual puede reducir ostensiblemente la búsqueda.

Otra línea de desarrollo, comienza con SAINT (Slagle, 1961) y culmina en MACSYMA (Martin y Fateman, 1971), un sistema experto desarrollado en el Instituto de Tecnología para Matemáticas Simbólicas, de Masachussetts. Con DENDRAL, MACSYMA sobrepasa a los humanos más expertos. Desarrolla cálculos diferenciales e integrales simbólicamente, y sobresale en simplificación de expresiones simbólicas. Utilizado diariamente por investigaciones físicas y matemáticas a nivel mundial, MACSYMA incorpora cientos de reglas extraídas de expertos en matemáticas aplicadas. Cada regla expresa un camino para transformar una expresión en una equivalente.

La solución a un problema requiere encontrar una cadena de reglas que transformen la expresión original en una que este simplificada adecuadamente.

Una contribución importante de SAINT, mejorada mucho en el posterior programa de integración simbólica de Moses, SIN, fue la introducción de un parón “semántico”, Dos conceptos están realmente involucrados aquí. Uno es que la estructura, de control básica de un programa experto puede ser invocada en

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

los programas de procedimiento por patrón. El otro es que especializar el patrón al dominio de problema específico simplifica enormemente la representación de las reglas expertas. Una de las diferencias mayores entre SIN y SAINT fue un mayor conocimiento al construir SIN, lo cual permitió clasificar problemas con tal integridad que, a cada paso, solamente se necesitaba intentar una transformación- ganen o pierdan- Fue experto en el sentido de sustituir conocimiento por búsqueda.

El siguiente evento en el desarrollo de programas simbólicos de integración fue la provisión de un programa por el sistema de MATHLAB para la integración de funciones racionales, un cálculo seminumérico. En este caso el sistema experto utiliza transformaciones heurísticas dirigidas por patrón para reducir sus problemas a uno, para el cual existe un algoritmo. En un modo similar, otro algoritmo computacionalmente efectivo demostró ser esencial para DENDRAL. Ese algoritmo enumeró todas las estructuras químicas posibles, esto es, computó el tamaño del espacio de solución más bien que la solución.

Experto (Weiss, Kulikowski y safir, 1978), que utiliza<a un lenguaje de construcción de sistemas expertos que desarrolló CASNET, es un sistema experto para consulta en el diagnóstico y tratamiento de glaucoma. Se ha utilizado principalmente para la construcción de modelos de consulta para oftalmología, endocrinología y reumatología.

CADUCEUS, desarrollado en la Universidad de Pittsburgh (Pople, Myers y Miller, 1975; Pople 1981) es un sistema experto creado para diagnosticar problemas médicos. CADUCEUS consiste en una red extremadamente grande de relaciones entre enfermedades y síntomas. También emplea algunas estrategias sofisticadas que intentan distinguir enfermedades múltiples,. Las evaluaciones, ahora bajo guía de los Institutos Nacionales de Salud, determinará su adaptabilidad para la distribución.

MYCIN (Shorliffe, 1976), desarrolla el p problema de diagnosticar y tratar enfermedades infecciosas de la sangre. Su conocimiento abarca aproximadamente 400 reglas relacionado posibles condiciones a interpretaciones asociadas. En su resolución del problema MYCIN prueba reglas condicionales comparando con la información disponible o la información que solicita el médico. Si es apropiada, intenta inferir la verdad o falsedad de una condición de otras reglas. Cuando una lista de expertos evaluaron la ejecución de varios agentes incluyendo expertos médicos y MYCIN, la actuación de MYCIN fue considerada como igual o superior a la de todos ellos.

Las características principales de MYCIN son :

- a) **s capaz de explicar su comportamiento.**
- b) **Está construido modularmente, y sus módulos son:**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- i) **Base de conocimiento: Conjunto abductivo de reglas de la forma si...entonces.**
- ii) **Motor de inferencia: Toma unos hechos del problema en cuestión, los intenta unir utilizando la base del conocimiento mediante un sistema de búsqueda, y concluye. También debe ser capaz de resolver conflictos en caso de que aparezcan reglas contradictorias. La búsqueda a utilizar podrá ser:**

- Conducida por los objetivos.
- Conducida por los datos.

iii) Módulo de explicación

- c) **Es capaz de evaluar certeza.**

Ejemplo: **Supongamos que la fiebre se puede producir por cualquiera de las siguientes causas:**

- **trauma.**
- **Enfermedad infecciosa.**

Si introducimos las reglas sin más, estamos dando la misma probabilidad a que la fiebre se produzca por cualquiera de las dos causas, cuando lo normal es que se produzca por enfermedad infecciosa.

MYCIN era capaz de distinguir esto, asociando a cada causa un número entre -1 (rechazo absoluto) y 1 (certeza total), es decir, a cada causa se le asocia un determinado *grado de apoyo*. Por tanto, Mycin era capaz de dar un diagnóstico con un determinado grado de certeza.

En Mycin, el conocimiento está representado en forma de reglas que ligan causas a efectos. Así podremos cambiar la base de conocimiento por otra representada de la misma forma para el mismo motor de inferencia.

De este modo podremos decir que las reglas se invocan utilizando un tardío encadenamiento de estrategias de control, que hace que MYCIN sea conducido por sus hipótesis, ya que trabaja hacia atrás, partiendo de sus conclusiones. MYCIN también desarrolló la idea de hacer muchos usos de una base de datos. Utilizando encadenamiento de reglas hacia atrás, MYCIN puede dar la razón a sus conclusiones en función de sus reglas y puede llevar a cabo un diálogo, pidiendo al usuario la información necesaria para realizar el posterior encadenamiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Una estribación de MYCIN es TEIRESIAS, un programa que ayuda en la construcción de grandes bases de conocimiento colaborando en la transferencia de la experiencia desde el experto humano a la base de conocimiento. Aquí el experto practica un diálogo con TEIRESIAS, en una subdivisión del lenguaje natural. TEIRESIAS facilita la adquisición automática de nuevo conocimiento en el sistema de MYCIN.

Supone a las reglas como unidades de conocimiento que son usadas y una cadena de tales reglas es suficiente como una explicación de comportamiento del sistema. Metaconocimiento es conocimiento acerca de cómo el conocimiento de MYCIN está representado y utilizado. Así TEIRESIAS tiene modelos y reglas acerca de la estructura de reglas. Una metaregla permite a TEIRESIAS detectar reglas defectuosas que entren en el sistema. Utilizando el contexto de los diálogos su propio conocimiento de lo que una regla debería parecer, TEIRESIAS puede llenar gran parte de una nueva regla para un experto.

CADUCEUS (originalmente llamado INTERNIST) es un sistema de consulta médico que intenta hacer un diagnóstico en el dominio de medicina interna. El programa presenta funcionamiento experto en cerca del 85 por ciento del campo de la medicina interna, de modo que su base de conocimiento es una de las mayores en cualquier sistema experto. El problema de diagnóstico es complicado porque un paciente puede tener más de una enfermedad, que hace enorme la cantidad de combinaciones posibles. Como CANET, CADUCEUS representa su conocimiento médico en una estructura, el árbol de enfermedad, acerca del cual el programa razona dinámicamente. CADUCEUS emplea tácticas especiales para razonar con su imendo árbol de enfermedad y produce buenos resultados en una cantidad razonable de tiempo. El programa construye modelos de enfermedades, y particiona dinámicamente su árbol de enfermedad en áreas de enfermedad correspondientes a los síntomas del paciente. CADUCEUS combina información dirigida a hipótesis dirigidas, razonando en la misma estructura. La información del paciente es utilizada primero para predecir otras manifestaciones que tienen que ser confirmadas o usadas para cambiar las hipótesis.

OPHIE actúa como un instructor de un laboratorio de electrónica que interactúa con un estudiante que intenta depurar una pieza que funciona mal en un equipo.

S O P H I E emplea un modelo de simulación de electrónica. Tiene también conocimiento declarativo de un circuito particular, codificado en una red semántica, y rutinas que razonan con esta forma de conocimiento. Cuando la situación en el circuito cambia (por ejemplo, una falta es insertada), SOPHIE mueve explícitamente el dominio declarativo en el simulador, determina los detalles de voltajes y corrientes en diversos puntos, y actualiza, al fin y al cabo, su red semántica con los nuevos valores. De este modo puede evitar calcular todos los valores por medio de razonamiento simbólico elaboro utilizando leyes de Kirchhnoff y así sucesivamente. Así el programa encarna técnicas para combinar los resultados

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

de simulaciones corrientes, con información obtenida por razonamiento de conocimiento declarativo como respuesta de muchos tipos de preguntas.

PROSPECTOR, estructurado igual que MYCIN, da consejo experto sobre hallazgo el de depósitos de mineral a partir de información geológica. Las redes son utilizadas para expresar el conocimiento en PROSPECTOR, conocimiento que es expresado como reglas y conocimiento estático acerca de objetos del dominio.

El programa contiene un sistema de adquisición de conocimiento (KAS) que facilita la adquisición de todos los tipos de conocimiento en PROSPECTOR. KAS urge continuamente al usuario hasta que todas las partes faltantes de una nueva estructura son llenadas. Este proceso está conducido por una gramática interna que puede ser cambiada sin dificultad, haciendo fácil de modificar tanto el desarrollo de KAS como el de PROSPECTOR. El núcleo de KAS es un editor de red que comprende diversos mecanismos en PROSPECTOR y dan al usuario una habilidad limitada para editar nuevo conocimiento de función más bien del contenido que de la forma .

PROSPECTOR incluye una docena de relaciones acerca de unas bases de conocimiento para el reconocimiento de diferentes tipos de depósitos minerales. Como MYCIN, determina el diagnóstico más plausible evaluando el grado de apoyo de cada uno de ellos. Este proceso aplica datos recursivamente hasta que todas las condicione relevantes están solicitadas y están combinadas heurísticamente.

En Stanford se desarrolló una versión independiente de MYCIN, llamada EMYCIN (Van Melle 1979). EMYCIN contiene todo MYCIN, excepto el conocimiento de infecciones y enfermedades de sangre. EMYCIN facilitó el desarrollo de aplicaciones diagnósticas relacionadas, como PUFF (1980 de Frehierr).

ROSIE, desarrollado por Rand, proporciona un sistema de programación de propósito general para sistemas expertos constructivos. ROSIE se desarrolló a partir de un sistema de programación anterior llamado RITA, derivando ambos del éxito del estilo de las reglas orientadas a la representación del conocimiento, que aparecían en MYCIN, y de la atención despertada por su facilidad de explicación que proporciona a los usuarios. ROSIE extiende estas cualidades incorporando numerosas facilidades adicionales, como técnicas de representación del conocimiento, comunicaciones interactivas entre usuarios y sistemas generales....ROSIE es el primer sistema diseñado para sostener un amplio abanico de nuevas aplicaciones de sistemas expertos.

La última línea emanada de los sistemas de discurso-comprensión es el sistema especial HEARSAY-II (Erman, 1980). HEARSAY-II, desarrollado en la Universidad Carnegie-Mellon, fue uno de los primeros dos primeros sistemas capaces de conectar el discurso, entendiendo unas 1.000 palabras del vocabulario. El principal rasgo de HEARSAY-II es la cooperación de múltiples especialistas, resolviendo el problema a diferentes niveles de abstracción,

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

variando el resumen total para precisar y localizarlo, así como un desarrollo incremental de soluciones parciales.

Dos proyectos tratan de desarrollar estructuras de propósito general para la construcción de sistemas expertos basados en esas propiedades de HEARSAY-II. Estas son AGE, en Stanford (Nii y Aielko, 1979) y HEARSAY-III, en ISI (Balzer y Erman, 1980), completando con ellos el estudio de sistemas expertos y lenguajes de sistemas expertos.

La consecuencia inmediata de todo esto es la aparición en el mercado de unas herramientas llamadas SHELL, consistentes en un sistema experto, con los tres módulos, cuya base de conocimiento estará vacía para poder rellenarla con los conocimientos que se deseen.

Podemos entonces acabar diciendo que, en lo que se refiere a sistemas expertos, hemos pasado de la era de los prototipos a la era industrial:

- **Era de los prototipos: Los sistemas se construyen a medida, lo cual presenta la ventaja de funcionar muy bien, pero el inconveniente de tener un costo elevado.**
- **Era industrial: Los sistemas expertos se construyen con SHELL, es decir, se construyen sistemas expertos en serie, que posteriormente se completarán con el conocimiento deseado, o con herramientas que introducen dicho conocimiento. Últimamente se ha llegado, incluso, a la comercialización de sistemas expertos contruidos de manera oculta, a los que únicamente será necesario facilitar unos parámetros de ajuste.**

2.2.-Tipos de sistemas expertos.-

La mayoría de las aplicaciones de la Ingeniería del Conocimiento pertenecen a tipos distintos, cuya clasificación podemos detallar a continuación:

- **Los SISTEMAS DE INTERPRETACION infieren descripciones de situaciones que don observables. Esta categoría incluye vigilancia, comprensión de discurso, análisis de imágenes, elucidación de estructuras químicas, interpretación de señales, y muchas clases de análisis de la inteligencia.**

Un sistema de interpretación explica la información observada asignándole significados simbólicos para describir la situación del estado del sistema, explicada como información:

Ejemplo: **Satélite meteorológico.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **LOS SISTEMAS DE PREDICCIÓN infieren consecuencias probables de situaciones dadas. Esta categoría incluye proyectos de clima, predicciones demográficas, predicciones de tráfico, estimaciones de cosecha y proyectos militares.**

Un sistema de predicción emplea típicamente un modelo dinámico paramétrico con valores de parámetros adaptados a la situación dada. Las consecuencias deducibles forman el modelo base de las predicciones, ignorando estimadores de probabilidad, generando los sistemas de predicción gran cantidad de posibles escenarios.

- **LOS SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO infieren en el funcionamiento deficiente de sistemas observables. Esta categoría incluye médica, electrónica, mecánica y diagnóstico de software, además de otros.**

Los sistemas de diagnóstico relacionan típicamente la conducta irregular observada con causas subyacentes, utilizando una de las dos técnicas:

- **Un método esencial usa una tabla de asociaciones entre comportamiento y diagnósticos.**
- **El otro método combina el conocimiento de los sistemas de diseño con el conocimiento de fallos potenciales en el diseño, la implementación componentes para generar problemas de mal funcionamiento consistentes en observaciones.**

- **LOS SISTEMAS DE DISEÑO desarrollan configuraciones de objetos que satisfacen las restricciones del problema de diseño. Tales problemas incluyen el esquema del circuito, diseño de construcción y presupuestos.**

Los sistemas de diseño construyen descripciones de objetos en diversas relaciones con unas y otras, verificando que estas configuraciones se ajusten a restricciones planteadas.

Además muchos sistemas de diseño intentan minimizar una función objeto o que mide costos y otras propiedades indeseables de diseños potenciales.

Esta visión del problema de diseño puede incluir un comportamiento también de búsqueda de objetivo, incorporando la función objetivo medidas para la consecución del objetivo.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **LOS SISTEMAS DE PLANIFICACION diseñan acciones. Estos sistemas especializados en problemas de diseños interesados en objetos que desempeñan funciones. Incluyen programación automática así como autómatas, proyectos, itinerarios, comunicaciones, experimentos y problemas de proyección militar.**

Los sistemas de proyección emplean modelos de comportamiento agente para inferir los efectos de las actividades agentes planificadas.

- **LOS SISTEMAS DE MONOTORIZACION comparan observaciones del comportamiento del sistema con caracteres distintivos que parecen resultados exitosos. Estos caracteres distintivos cruciales, o vulnerabilidades, corresponden a grietas potenciales en el plan.**

Generalmente los sistemas de monitorización, clasifican las vulnerabilidades en dos tipos:

- **Un tipo de vulnerabilidad corresponde a asumir una condición cuya violación anularía entonces la exposición razonada del esquema.**
- **Otra clase de vulnerabilidad surge cuando algún efecto potencial del esquema viola una restricción. Estos corresponden a un mal funcionamiento en la predicción de los estados.**

Entre los sistemas de monitorización asistidos por computadora podemos destacar centrales eléctricas nucleares, tráfico de aire, reguladores y tareas de administración fiscal, aunque el ejemplo más típico podría ser la UVI de un hospital, en la que interese detectar cuando ciertas constantes del enfermo se salen de lo normal.

- **LOS SISTEMAS DE CORRECCION DE ERRORES prescriben remedios para problemas de mal funcionamiento. Estos sistemas planean, diseñan y predicen capacidades para crear especificaciones o recomendaciones para corregir un problema diagnosticado.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **Los sistemas de puesta a punto asistidos por computadora que existen están referidos a la programación de la computadora en forma de base de conocimiento inteligente y a editores de texto, operoi ninguno es calificado como un sistema experto.**
- **LOS SISTEMAS DE REPARACION desarrollan y ejecutan esquemas para Administrar un remedio para algún problema diagnosticado. Tales sistemas incorporan puesta a punto, proyección y capacidad de ejecución. Los sistemas de reparación asistidos por computadora ocurren en los dominios de automotores, redes, aviones y mantenimiento de la computadora, así como otros sistemas expertos están entrando justamente en este campo.**
- **LOS ISTEMAS DE INSTRUCCIÓN diagnostican, ponen a punto el comportamiento del estudio. Incorporan diagnóstico y puesta a punto de subsistemas que se dedican específicamente al estudio del sistema de interés. Típicamente estos sistemas comienzan construyendo una hipotética descripción del estudio del conocimiento que interpreta el estudio del comportamiento. Entonces diagnostican fallos en el estudio del conocimiento e identifican un remedio apropiado. Finalmente planean una interacción de guía de instrucción que pretende transportar el conocimiento terapéutico al estudio.**
- **UN SISTEMA DE CONTROL gobierna el comportamiento global de un sistema. Tiene que interpretar repetidamente la situación actual, predice el futuro, diagnostica las causas de problemas anticipados, formula un plan terapéutico, y monitorea su ejecución para garantizar éxito. Los problemas dirigidos por sistemas de control incluyen control de tránsito aéreo, administración de negocios, administración de batallas y control de misiones. L tecnología de la ingeniería de conocimiento debería manipular muchos problemas de control que resisten un tratamiento por enfoques matemáticos más tradicionales.**

Un resumen más claro de los tipos de sistemas expertos vistos hasta ahora se puede ver en el siguiente esquema de la página siguiente:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

CATEGORIA	PROBLEMA
Interpretación	Infiere descripciones de situaciones , Desde la información del cursor.
Predicción	Infiere consecuencias probables de situaciones dadas.
Diagnóstico	Infiere problemas de mal funcionamiento del sistema.
Diseño	Configura objeto bajo restricciones.
Proyección	Diseño de acciones.
Monitorización	Compara observaciones comparando vulnerabilidades.
Puesta a punto.	Prescribe soluciones para funcionamientos inadecuados.
Reparación.	Ejecuta un plan para administrar las soluciones prescritas.
Instrucción	Diagnóstico, puesta a punto y reparación del sistema.
Control	Interpretación y predicción del comportamiento del sistema.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.- CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.-

En la literatura de sistemas expertos, la palabra *experto* tomada seriamente. Los diversos proyectos, sin embargo, han dado garantía de que las características importantes de un experto pueden, en realidad, ser identificadas.

Por ejemplo mientras que la alta calidad es ciertamente una aptitud necesaria de un experto, ella sola no es suficiente. Los investigadores de Inteligencia Artificial tienden, por ejemplo a no identificar rápidamente programas muy eficaces en la resolución de transformadas de Fourier como sistemas expertos, a pesar del hecho que estos programas son mejores que la transformada de Fourier, que según DENDRAL es una estructura molecular.

Las características intuitivas necesitan ser examinadas:

-Primero, por supuesto, es la calidad del comportamiento para estar dirigido. No importa lo rápidamente que desarrolle una tarea; difícilmente uno estará satisfecho si los resultados son una conclusión errónea o un juicio inexacto.

-Por otra parte, la velocidad con que una decisión es alcanzada, es un factor importante: hasta el diagnóstico más exacto puede no ser útil si mientras tanto el paciente muere.

La contribución principal es la adopción de decisiones de velocidad relativa, de acuerdo con la literatura de sistema experto, parece ser el nivel en el cual son expresadas las reglas de adopción de decisiones y patrones para ser reconocidos. La creencia es que cuanto más alto sea el nivel de estructura más cubierto puede estar un salto del inferencia.

Una característica interesante de las reglas que ha sido encarnada en sistemas expertos es su fragmentación. Son frecuentemente admitidas para ser reglas empíricas, o heurísticas. El factor heurístico, sin embargo no es tan importante como la reducción del área de búsqueda que provee tales reglas de alto nivel.

Una característica de la experiencia es que viene generalmente en dominios estrechos y especializados.

Ejemplo: Es fácil de imaginar un experto en casi cualquier campo técnico, pero no en actividades diarias comprendiendo el lenguaje natural o escenas casuales.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La especialización en experiencia parece reflejar una compensación de factores entre profundidad y anchura de conocimiento: uno puede conocer una gran cantidad acerca de solamente un número pequeño de cosas. La especialización y experiencia van unidas.

Aunque el énfasis explícito en el desarrollo de sistemas expertos ha estado, por supuesto, basado en la experiencia, estos sistemas también reflejan erudición general.

Ejemplo: **Expertos en la lectura de espectrogramas pueden utilizar solamente las reglas de química y física, pero en lugar de dudas tiene que confiar de vez en cuando en conocimiento matemático general, y el sentido común simple.**

Esto da origen a un énfasis en la explicación. Algunos investigadores creen que la capacidad de explicación es una de las características más importantes que un sistema experto puede tener. La explicación sirve para varios propósitos, entre estos para asegurar a un observador humano la validez de una cadena de pasos de inferencia. No obstante un simple rastreo de las reglas expertas invocadas durante una sesión del problema a resolver, es el tipo menos satisfactorio de explicación que un sistema puede generar. La seguridad del humano de que un sistema entiende el problema para intentar resolverlo, está basado principalmente en la explicación en función de los principios básicos de un dominio. La dirección implicada por este factor es la construcción de sistemas expertos firmemente basados en principios básicos de sus dominios de experiencia.

3.1.- El elemento humano en sistemas expertos.-

Al menos dos humanos, y posiblemente más, participan en el desarrollo y uso de un sistema experto. Como mínimo hay un experto y un usuario. Frecuentemente, hay también un ingeniero de conocimiento. Las reglas a seguir por parte de cada uno de estos participantes son como siguen:

A)Experto:El experto, comúnmente referido al experto del dominio, es una persona que tiene el conocimiento especial, juicio, experiencia, y los métodos, junto con la habilidad para aplicar estos talentos a la hora de aconsejar y resolver problemas. Es el trabajo del experto del dominio el que provee conocimiento acerca de como él o ella desempeña la tarea que el sistema de conocimientos desempeñara. Para un caso de dar consejo, el experto sabe que hechos son importantes y el significado de relaciones entre hechos.

Ejemplo: **Al diagnosticar un sistema eléctrico de un automóvil, un mecánico experto sabe que esas correas del ventilador se pueden romper hacer que se recargue la batería.**

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Dirigir a un principiante en la revisión de las correas del ventilador, interpretando el significado de una altura o correa faltante son ejemplos de experiencia.

A veces se utiliza más de un experto. Tales situaciones se pueden poner difíciles si los expertos están en desacuerdo.

El experto del dominio está ayudado frecuentemente por un ingeniero de conocimiento cualificado. Generalmente, el cuerpo inicial del conocimiento, incluyendo términos y conceptos básicos, está documentado en libros de texto, manuales de referencia, conjuntos de políticas, o un catálogo de productos. Sin embargo esto no es suficiente para un sistema experto poderoso. La razón por la que no toda la experiencia está documentada es que la mayoría de los expertos son inconscientes del proceso exacto por medio del cual diagnostican o resuelven un problema. Por lo tanto un procedimiento interactivo es necesario para adquirir información adicional del experto para expandir el conocimiento básico. Este proceso es bastante complejo y requiere generalmente la intervención de un ingeniero de conocimiento.

C) **Ingeniero del conocimiento: El ingeniero de conocimiento ayuda al experto(s) humano a estructurar el área del problema interpretando e integrando respuestas humanas a preguntas, dibujando analogías dando contraejemplos y trayendo luz a dificultades conceptuales.**

La escasez de ingenieros del conocimiento experimentados es probablemente el cuello de botella mayor en la construcción de sistemas expertos. Para vencer este cuello de botella, diseñadores de sistemas expertos están utilizando herramientas de productividad, como pueden ser los editores especiales, y la investigación está siendo conducida a sistemas constructivos que desvían la necesidad de ingenieros de conocimiento.

Ejemplo: **El intento de automatizar la adquisición del conocimiento es uno de los objetivos mayores del proyecto de la quinta generación en Japón.**

D) **Usuar**

E)

F) **yo: Los sistemas más basados en la computadora se han desarrollado en un modo de usuario único. En contraste, un sistema experto tiene varios usuarios posibles:**

-Un cliente *no experto* buscando un consejo directo. En tal caso el ES actúa como un "consultor"..

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

-Un alumno o un estudiante que necesiten aprender. En tal caso el ES actúa como un “instructor”.

-Un constructor de sistemas expertos que necesite mejorar o aumentar la base de conocimiento. En tal caso el ES actúa como un “socio”.

-Un experto . En tal caso el SE actúa como un “colega”.

Ejemplo: El sistema puede proveer una “segunda opinión”, de modo que el experto puede dar validez a su juicio.

También un experto puede utilizar el sistema como un ayudante para llevar a cabo análisis o cálculos de rutina o buscar y clasificar información.

Los usuarios pueden no estar familiarizados con computadoras y pueden carecer de conocimiento a fondo en el dominio de problema.

Sin embargo, los usuarios deberían tener un interés en hacerlo mejor ya que las decisiones posiblemente más baratas y más rápidas utilizan sistemas expertos. El experto de dominio y el ingeniero del conocimiento deberían anticipar necesidades de los usuarios cuando diseñan sistemas expertos. Las capacidades de los sistemas expertos fueron desarrolladas para ahorrar tiempo y esfuerzo a los usuarios. Por lo tanto a diferencia de sistemas de contadores más tradicionales, un sistema experto provee directamente respuestas a preguntas, no simplemente información y apoyo. Además, los sistemas expertos dirigen la necesidad de enseñar a los no expertos.

Además, los expertos pueden mejorar su experiencia a través del uso de sistemas expertos (por ejemplo, descubriendo combinaciones de hechos no previamente considerados).

Finalmente, los sistemas expertos pueden ser utilizados como un ayudante al conocimiento de expertos, en la ejecución de tareas tediosas como búsquedas y cálculos.

3.2.-Forma de trabajo de los sistemas expertos.-

Tres actividades fundamentales toman parte en la construcción y uso de los sistemas expertos: desarrollo, consulta y mejora.

- A) **DESARROLLO:** El desarrollo de un sistema experto involucra la construcción de la base del conocimiento adquiriendo conocimiento de expertos y/o de fuentes documentadas. En principio, el conocimiento es tanto declarativo (factual), como procedural. Por el contrario, los sistemas basados en ordenadores no pertenecientes al campo de la Inteligencia Artificial, incluyen solamente conocimiento declarativo. La actividad de desarrollo también incluye la construcción (o adquisición) de una máquina de inferencia, una “pizarra”, y una facilidad de explicación. Los principales participantes en esta actividad son el experto de dominio, el ingeniero de conocimiento y, posiblemente, programadores de sistemas de información (especialmente si hay una

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

necesidad de programar desde cero). El conocimiento está representado en la base de conocimiento de modo que tal el sistema pueda llegar a conclusiones. Emulando el proceso e razonamiento de expertos humanos.

B) CONSULTA: Una vez que el sistema es desarrollado, será transferido a los usuarios. Cuando los usuarios quieren consejo, se pide al sistema experto. El sistema experto conduce un diálogo bidireccional con el usuario, pidiéndole que le provea de hechos acerca del incidente específico. Después de aceptar las respuestas del usuario, el sistema experto intenta alcanzar una conclusión. Este esfuerzo es hecho por la máquina de inferencia, que “decide” qué técnicas heurísticas de búsqueda deberían ser utilizadas para determinar como son las reglas en la base de conocimiento, para ser aplicadas al problema. El usuario puede pedir explicaciones.

Ejemplo: Porqué una cierta pregunta fue realizada por la computadora, y como ciertas conclusiones fueron derivadas.

La calidad de la capacidad de inferencia está determinada por el método de representación del conocimiento usado y por el poder de la máquina de inferencia. Debido a que el usuario es generalmente un principiante de la computadora, el sistema experto tiene que ser muy fácil de utilizar. En el estado presente de la tecnología el usuario se tiene que sentar cerca de la terminal de la computadora y teclear la descripción del problema (los sistemas expertos futuros utilizarán entrada de voz). El sistema experto hace preguntas y el usuario responde a ellas, alcanzándose finalmente una conclusión. El entorno de consulta es también utilizado durante la fase de desarrollo para probar el sistema. En ese momento se puede pedir la participación de usuarios reales, de modo que la interface y la facilidad de explicación puede ser probada, así como las reglas y la inferencia.

C) MEJORA: los sistemas expertos están mejorando constantemente. La fase de desarrollo inicial incluye mejoras consecutivas. Después de que el sistema está operando en el campo, atraviesa mejoras adicionales. Las mejoras incluyen la adición de nuevas reglas (tratar con casos únicos), modificación de reglas (tratar con condicione cambiantes o corregir reglas), y eliminación de reglas que no son relevantes más tiempo. La tarea de mejora es similar a la tarea de desarrollo inicial. Sin embargo, esta vez, el usuario participa más activamente en el procedo.

3.3.-Beneficios de los sistemas expertos.-

Los sistemas expertos pueden proveer enormes beneficios a los usuarios. Los beneficios potenciales están listados como sigue:

* **Incremento de salida: los sistemas expertos pueden trabajar más rápidamente que los humanos.**

Ejemplo: XCON ha permitido a DEC aumentar en el cuádruple la productividad de VAX

La salida aumentada significa menos trabajadores y unos costos reducidos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

* **Incremento de calidad:** El sistema experto puede aumentar la calidad, ofreciendo un aviso consistente para una tasa de error reducida.

Ejemplo: XCON redujo la tasa de error de la configuración de la computadora Desde 35 hasta un 2 por ciento.

Reproducción del tiempo de bajada: Muchos sistemas expertos operacionales como el CATS-1 – sistema descrito anteriormente-, están siendo utilizados para problemas de mal funcionamiento diagnosticables y reparación prescrita. Utilizando sistemas expertos es posible reducir el tiempo de bajada significativamente.

Ejemplo: Un día de tiempo perdido en una torre de perforación puede costar tanto como 250.000 dolares. Un sistema llamado Consejero de Driling se desarrolló para detectar problemas de mal funcionamiento en torres de perfección. Este sistema ahorró una considerable cantidad de dinero para la compañía involucrada.

* **Captura de experiencia escasa:** La escasez de experiencia se pone en evidencia cuando no hay expertos suficientes para una tarea, cuando el experto está cerca de su jubilación o a punto de dejar un trabajo, o bien cuando su experiencia está requerida sobre una ubicación geográfica amplia. Los sistemas típicos que capturan experiencia escasa son CATS-1, el sistema experto de Campbell, ACE y DART.

* **Flexibilidad:** Los sistemas expertos pueden proporcionar flexibilidad en servicios y en producción.

Ejemplo: DEC intenta hacer que cada VAX se adapte a las necesidades del cliente tanto como sea posible.

* **Operación de equipamiento:** Los sistemas expertos hacen más fácil la compleja operación de equipamiento.

Ejemplo: STEAMER es un sistema experto pensado para entrenar Trabajadores experimentados en operar con ingeniería naval compleja. Otro ejemplo es un sistema experto desarrollado para Shell Oil Company para entrenar a la gente para usar las complejas rutinas de fortran.

* **Utilizar equipos menos caros:** En muchos casos los humanos tienen que confiar en instrumentos caros para monitorizar y controlar. Los sistemas expertos pueden desempeñar las mismas tareas con instrumentos de más bajo coste. Este es el resultado de la habilidad de los sistemas expertos para investigar más completa y rápidamente la información suministrada por los instrumentos.

Ejemplo: DENDRAL es un ejemplo de sistema experto de este tipo.

* **Operación en entornos peligrosos:** Muchas tareas requieren humanos para operar en un entorno peligroso. El sistema experto puede permitir a los humanos evitar

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

tal entorno. Esta característica no solo es extremadamente importante en conflictos militares, sino que pueden también permitir a los trabajadores, evitar entornos húmedos, calurosos o tóxicos.

* **Confiabilidad: Los sistemas expertos son confiables. No se cansan o se aburren, no caen enfermos, o tiene golpes y no hablan a espaldas del jefe. También, los sistemas expertos prestan atención a todos detalles y no pasan por alto información relevante y soluciones potenciales.**

* **Tiempo de respuesta: El sistema experto responde en algunos casos mucho más rápido que los humanos, especialmente cuando es necesario trabajar con un volumen grande de información..**

* **Trabajo con información incompleta e incierta:En contraste con os sistemas de computadoras convencionales, el sistema experto puede, como los expertos humanos, trabajar con información incompleta. El usuario puede dar generalmente un “no conozco” o un “no estoy seguro”, como respuesta a una o más de las preguntas del sistema durante una consulta,, y aunque puede no ser cierta. El sistema experto no tiene que ser completo de la misma forma en que se hacen las declaraciones IF de FORTRAN. Pueden también tratar con probabilidades, en tanto que la máquina de inferencia puede tratar con ellas.**

* **Beneficios educacionales:El sistema experto puede proveer entrenamiento. El principiante que trabaje con sistemas expertos sabe más y es más experimentado. La facilidad de explicación puede también servir como un dispositivo de enseñanza.**

* **Realce la resolución de problemas: El sistema experto realiza la resolución de problemas permitiendo principalmente la integración de juicios expertos en el análisis. También aumentan la comprensión de los usuarios a través de la explicación. El sistema experto puede ser también utilizado par sostener la solución de problemas difíciles.**

Ejemplo:Un sistema experto oftalmológico desarrollado en la Universidad de Rutgers (por Kulikowski), conjuntamente con La Organización Mundial de la Salud. El problema está a prueba en Egipto y en Argelia donde prevalecen serias enfermedades oculares, pero los especialistas oculares son escasos. El programa está basado en reglas, se ejecuta en un micro, y puede estar operado por una enfermera, un Ayudante de médico, o un practicante general. El programa diagnostica La enfermedad y entonces recomienda tratamiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Resolución de problemas complejos en un dominio estrecho: Los sistemas expertos pueden, un día, resolver problemas cuya complejidad exceda la que pueden tratar las personas.

3.4.- Problemas y limitaciones de los sistemas expertos.

Las metodologías de los sistemas expertos disponibles parecen ser directas y efectivas solamente para aplicaciones relativamente simples acerca de una docena de categorías genéricas. Hasta para aplicaciones de complejidad modesta, el código generado por la mayoría de los sistemas expertos es duro de entender, corregir, extender y mantener. Además, podemos ver algunos otros factores y problemas que inhiben el esparcimiento comercial e los sistemas expertos:

- El conocimiento no está siempre rápidamente disponible.
- La experiencia es dura de extraer de los humanos.
- El enfoque de cada experto en la evaluación de situaciones puede ser diferente, no obstante correcto.
- Es duro, hasta para un experto altamente cualificado, abstraer bien evaluaciones situacionales cuando él o ella están bajo presión de tiempo.
- Los usuarios de sistemas expertos tienen límites cognitivos naturales. Los humanos ven solamente lo que ellos están preparados para ver y frecuentemente caen dentro de un marco de atención estrecho.
- El sistema experto trabaja bien solamente en un dominio estrecho, y en algunos casos en dominios muy estrechos.
- Los más expertos no tienen medios independientes para revisar si sus conclusiones son razonables.
- El vocabulario que usan los expertos para expresar hechos y relaciones está frecuentemente limitado y no es entendido por otros expertos.
- La ayuda requerida por los ingenieros del conocimiento es frecuentemente, escasa y cara, hecho que hace las construcciones de sistemas más bien costosas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Un modo interesante de examinar las limitaciones de un sistema experto es revisar las áreas genéticas donde el sistema experto fue encontrado exitoso, y señalar las dificultades mayores encontradas en cada categoría.

Por último, pero no menos importante, es el hecho de que sistemas expertos pueden no llegar a conclusiones (especialmente en etapas tempranas del desarrollo del sistema.).

Ejemplo: Hasta el XCON completamente desarrollado no pudo cumplir cerca del 2% de las órdenes que se le presentaron.

Además los sistemas expertos cometen errores.

Estas limitaciones indican claramente que a los sistemas expertos de hoy les falta comportamiento humano, generalmente inteligente. Varias de estas limitaciones disminuirán o desaparecerán debido a mejoras tecnológicas.

3.4.1.- Tareas representativas de los sistemas expertos y sus dificultades.-

A) INTERPRETACION: Análisis de información para determinar su Significado.

Dificultades:

- La información está frecuentemente contaminada y llena de errores.
- Pueden faltar valores de información.

B) DIAGNOSTIVCO Buscador de fallos en un sistema basado en interpretación de información.

Dificultades:

- Las faltas pueden ser intermitentes.
- Los síntomas de otras faltas pueden interferir.
- La información contiene errores o es inaccesible.
- El equipo de diagnóstico puede ser irresponsable.

C) MONITORIZACION : Interpretación continua de señales y banderas para la intervención.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Dificultades:

- Cuando la bandera es frecuentemente dependiente del contexto.
- Señales que esperamos que varíen con la situación de tiempo.

D) PREDICCIÓN: Proyección de pasado y presente

Dificultades

- Integración de información incompleta.
- Explicación de múltiples futuros posibles.
- Incertidumbre de imprevistos.
- Diversidad de información, frecuentemente contradictoria

E) PLANIFICACIÓN: Creación de un plan para lograr objetivos.

Dificultades:

- Muchos cursos alternativos de acción.
- Volumen abrumador de detalles
- Interacción entre planificación y submetas.
- El contexto de planificación es solamente conocido de forma aproximada.

F) DISEÑO: Establecimiento de especificaciones para crear objetos que satisfagan requisitos particulares.

- Dificultad en la evaluación de consecuencias.
- Varias restricciones contradictorias.
- Interacción entre subdiseños.

3.4.2.- Errores en los sistemas expertos.-

Mientras que los programas convencionales están diseñados para producir cada vez la respuesta correcta, los sistemas expertos están diseñados para comportarse como expertos, produciendo generalmente respuestas correctas pero produciendo a veces incorrecciones.

Jhon Modermott, quién describió el desarrollo de un sistema experto para configurar VAX-11 -sistema de computadoras para la Corporación de Equipo Digital-, resume nítidamente el problema:

<<Tengo conocimiento en el tema de que un programa basado en conocimiento tiene que pasar a través de una etapa de aprendizaje relativamente larga y que después llegará a ser un experto, que como todos los expertos, comete ocasionalmente errores. La primera parte de este

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

mensaje está clara, pero, yo sospecho que la segunda no lo está tanto. Mi interés es, entonces, si esta característica e sistema experto está reconocida. Digital (o cualquier otra corporación grande) estará preparada emocionalmente para dar una cantidad significativa de responsabilidad a programas que son conocidos como falibles>>.

A primera vista parecería que esos programas convencionales tienen una ventaja sobre los sistemas expertos a este respecto. Sin embargo, la ventaja es una ilusión.

Tanto los programas convencionales para tareas complejas ejecutables, como aquellos apropiados para sistemas expertos, cometerán errores. Pero sus errores serán muy difíciles de remediar debido a que las estrategias, heurísticas y suposiciones básicas sobre las que estos programas están basados no estarán planteadas explícitamente en el código de programa. Así no pueden ser fácilmente identificados y corregidos.

Los sistemas expertos, como los humanos, cometen errores. Pero a diferencia de los programas convencionales, tiene el potencial de aprender de sus errores. Con la ayuda de los diestros usuarios, el sistema experto puede estar hecho para mejorar sus habilidades de resolvedor de problemas en el trabajo.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 3 = REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO MEDIANTE EL LENGUAJE DE LA LOGICA.

1.- LOGICA DE PREDICADOS.-

1.1.- TECNICA DE DEMOSTRACION POR REFUTACION.

1.2.- METODO DE RESOLUCION.

1.2.1.- Estrategias de aplicación de la resolución.

1.2.2.- Ventajas e inconvenientes de la resolución.

2.- EXTENSIONES DE LA LOGICA DE PREDICADOS.-

2.1.- LOGICAS MODALES

2.1.1.- Mundos posibles, relaciones de accesibilidad y noción de necesidad.

2.1.2.- Sintaxis y semántica de las lógicas modales.

2.1.3.- Características de la simetría.

2.2.- LOGICA SITUACIONAL.

2.3.- LOGICAS TEMPORALES.

2.4.- LOGICAS CON CLASE MULTIPLE DE OBJETOS.

2.5.- LOGICAS MULTIVALUADAS

2.5.1.- Lógica de Kleene.

2.5.2.- Lógica de Lukasiewicz.

2.5.3.- Lógica de Bochvar

2.5.4.- Lógica de Belnap.

2.5.5.- Lógica de Lukasiewicz infinitamente valorada.

2.6.- LOGICAS NO MONOTONICAS.

3.- REPRESENTACION MEDIANTE SISTEMAS BASADOS EN REGLAS.

3.1.- CONCEPTO DE REGLA DE PRODUCCION.

3.2.- UTILIZACION DE LAS REGLAS DE PRODUCCION.

3.3.- IMPLEMENTACION DE LAS REGLAS DE PRODUCCION.

3.4.- HERRAMIENTAS PARA LA CONSTRUCCION DE REGLAS.

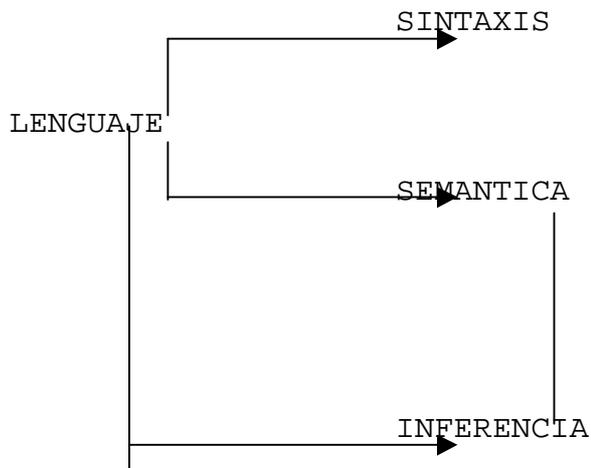
Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.5.-VALIDACION DE UNA BASE DE REGLAS.

1.- LOGICA DE PREDICADOS.-

Una lógica, desde un punto de vista formal, es un lenguaje al que se le puede dar una sintaxis y una semántica, y en gnerla, permite realizar inferencias.



La primera lógica de la que podemos hablar en la **Lógica de Proposiciones**, que ya fue comentada en capítulos anteriores.

En segundo lugar vamos a tratar la **Lógica de Predicados**, que tendrá asignada una sintaxis, y cuya semántica se dará en función de la comparación con el mundo real.

La Inferencia dentro de la Lógica de Predicados viene dada por:

a) "MIDUS PONENS":

$$\begin{array}{l} P \text{-----} \rightarrow Q \\ P \\ \text{-----} \\ Q \end{array}$$

b) "MODUS TOLENS":

$$\begin{array}{l} P \text{-----} \rightarrow Q \\ \quad \quad \quad \neg Q \\ \text{-----} \\ \neg P \end{array}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Así, si tenemos $\{A_1, \dots, A_n\} \mid - T$, se puede interpretar como "T se deduce de $\{A_1, \dots, A_n\}$ ", es decir, "T será verdad en el mundo en el cual $\{A_1, \dots, A_n\}$ sean verdad"

La única forma que existe de deducir teoremas, es mediante la combinación de axiomas mediante las reglas antes descritas.

Esto es implementable en el ordenador, pero con el inconveniente de que los axiomas no tienen una escritura única (existen muchas escrituras equivalentes para un mismo axioma).

Por esta razón, la lógica no era un método computacionalmente válido hasta que, en 1965, Robinson ideó el concepto de **resolución**.

Se denomina demostrar a conseguir a probar que es un teorema se deduce a partir de un conjunto de axiomas, aplicando las reglas del "Modus Ponens" y "Modus Tolens". Ambas se combinan con la "particularización", que es la regla que nos falta:

$$\forall x P(x) \quad = \quad > \quad Q(x)$$

P(A)

Q(A)

1.1.- Técnicas de demostración por refutación.-

Se trata del método conocido comúnmente como método de "reducción al absurdo". Consiste en añadir el teorema que se pretende demostrar, pero negado, al conjunto de axiomas, y conseguir demostrar de esta forma que el conjunto de axiomas es falso.

$$\begin{array}{l} \{A_1, \dots, A_n\} \quad \mid - \quad T \\ \{A_1, \dots, A_n, \neg T\} \quad \mid - \quad \text{NIL} \end{array}$$

Esta técnica tiene la ventaja de que siempre se desarrolla del mismo modo, y además no hay que llegar a ningún teorema, sino llegar a la nada.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.1.- Método de resolución.-

Fue creado por Robinson en 1965, y se formuló del siguiente modo:

$$\left. \begin{array}{l} E1 \quad V \quad E2 \\ \neg E1 \end{array} \right\} = > \begin{array}{l} E2 \quad V \quad E3 \\ V \quad E3 \end{array}$$

Esta regla de deducción recoge tanto al "Modus Ponens" como al "Modus Tolens", ya que el primero nos decía:

$$\left. \begin{array}{l} \neg E1 \quad V \quad E2 \\ E1 \quad V \end{array} \right\} = \begin{array}{l} E2 \quad V \quad NIL \\ NIL \end{array}$$

Mientras que la segunda de las reglas se puede expresar como:

$$\left. \begin{array}{l} \neg E1 \quad V \quad E2 \\ NIL \quad V \quad \neg E2 \end{array} \right\} = > \neg E1 \quad V \quad NIL$$

que no son más que casos particulares de la regla de producción.

Este método puede extenderse a dos o más axiomas, pero sigue resentando problemas de construcción de un programa general, ya que un mismo axioma se puede escribir de varias formas, dando esto lugar a varias posibilidades de resolución. Para ello, Robinson pensó en la atomización máxima de los axiomas, llegando de esta manera a las cláusulas. En ellas se estableció que solo pudiera existir una negación, con lo que quedará una única forma de resolución, eliminándose así el problema.

El proceso a seguir es:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- I) Negar el teorema
- II) Añadirlo a los axiomas
- III) Pasar de $\{A_1, \dots, A_n\}$ a $\{C_1, \dots, C_p\}$, es decir, pasar del conjunto de axiomas a un conjunto de cláusulas.
- IV) Aplicar el método de resolución:
 - Si se llega a NIL, habremos acabado.
 - Si no conseguimos llegar a NIL, debido a la semidecidibilidad de la lógica, lo más prudente será parar.

1.2.1.- Estrategias de aplicación de la resolución.-

- A) La estrategia de preferencia unitaria consiste en escoger la resolución con las cláusulas más cortas posibles, ya que así se llegará antes a NIL, mientras que si las tomamos más largas, lo que conseguiremos es ir agrandando la cláusula cada vez más.
No se trata de una buena heurística, ya que, según, se avanza, se va perdiendo conocimiento. Lo más racional sería coger las cláusulas del conjunto negado.
- B) La estrategia del conjunto soporte consiste en dar preferencia en la resolución, a las cláusulas que pertenecen al teorema negado.
- C) Con la estrategia a lo ancho, llegaremos a la solución del problema en un número finito de pasos. Es un método muy ineficiente. A pesar de todo, el problema no está resuelto, ya que si no encontramos NIL, no podemos asegurar que el problema sea verdadero o falso.
- D) La estrategia de unificación consiste en:

$$\begin{array}{ccc|ccc} P(x) & V & Q(y) & & P(y) & V & Q(y) \\ & & & (x/y) & \rightarrow & & \\ P(y) & V & H(y) & & P(y) & V & H(y) \end{array}$$

Requiere un control exhaustivo de los nombres de las variables, en el cual se pierde mucho tiempo. Sin embargo, una vez hecho, presenta muchas ventajas a la hora de aplicar refutación.

1.2.2.- Ventajas e inconvenientes de la resolución.-

Como ventajas podemos destacar las siguientes:

- Es un método limpio.
- Está depurado.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Existe el lenguaje PROLOG, que lo soporta muy bien.

En cuanto a inconvenientes, los principales son:

- Es muy lento, tiene orden exponencial de eficiencia.
- La resolución no es muy expresiva, con lo que no se podrá aplicar a todos los problemas: sólo podrá hacerse en problemas de tipo declarativo, con conocimiento poco estructurado.
- Por si mismo no sirve para conocimiento cambiante, creencias.....Por tanto, no es aplicable al metaconocimiento.

En definitiva, puede expresar el conocimiento de un solo mundo en un instante determinado, pero no pueden guardar memoria de lo que pasó anteriormente, para relacionar varios mundos (pertenecientes a diversos dominios).

2.- EXTENSIONES DE LA LOGICA DE PREDICADOS.-

El empleo de la lógica en el procesamiento automatizado del conocimiento ha sido muy criticado, especialmente por parte de muchas de las personas que trabajaban en la investigación de la Inteligencia Artificial en la primera mitad de los años setenta. Se han planteado varias críticas, siendo las más comunes:

- a) Que la lógica no es lo bastante expresiva, es decir, que hay un límite bastante grande respecto a lo que se puede representar.
- b) Que la lógica no puede representar conocimiento incompleto, incierto, impreciso, vago y/o inconsistente.
- c) Que los algoritmos para manipular conocimiento, obtenidos de la lógica, son ineficaces.

Tales críticas se deben en gran parte a la concepción errónea de que la lógica abarca solamente la lógica clásica (Lógica Proposicional y Lógica de Predicados). Hay muchas otras lógicas, la mayoría de las cuales fueron diseñadas específicamente para superar ciertas deficiencias de la Lógica Clásica.

Cualquier sistema para la manipulación del conocimiento puede estar considerado como una lógica, si contiene:

- Un lenguaje bien definido, para representar conocimiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Una teoría de mofrlos (o semántica) bien definida que se ocupe del significado de de declaraciones expresadas en el lenguaje.
- Una teoría de demostración que se ocupe de la manipulación sintáctica y de la obtención de declaraciones a partir de otras declaraciones.

Partiendo de estos conceptos, vamos a proceder a anásliis de alguna de estas lógicas no clásicas.

2.1.- Lógicas modales.-

Inicialmente surgen en 192 por Lewis, quién desarrolla estas lógicas para tratar de resolver el problema de la *implicación material*:

$$A \Rightarrow B \quad \Leftrightarrow \quad \neg A \vee B$$

la cual es una expresión contraintuitiva,.

Desde un punto de vista más formal, podemos expresarlo de la siguiente forma:

- La lógica de predicados es extensional, entendiendo como EXTENSION de un predicado, el conjunto de objetos que lo cumplen en un determinado mundo. De esta forma podremos decir:

EXTENSION = O => PREDICADO FALSO

- En algunos casos puede ser intensional, es decir, que no demos unprdicado por falso porque refleja algunas propiedades que podremos concluir, al menos, como verdaderas.

Por tanto, muchas veces la verdad o falsedad de una implicación no vendrá dada por su extensión, sino que vendrá dada por otros conceptos, ya que sí una proposición tiene extensión vacía (no existen predicados que lo verifiquen), puede que exista otro mundo en el que esto no sea cierto, de modoi que no podrán hacerse implicaciones tan tajantes en función de la extensión.

Esta es layutilidad de las Lógicas Modales, que hasta el año 1965 no tuvieron mucha claridad formal,

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

año en el que Kripke establece la unidad de las Lógicas Modales.

Snyder (1971) ha descrito la Lógica Modal como aquella que permite razonar con declaraciones que están en modo subjuntivo, en lugar de estar en indicativo. las declaraciones subjuntivas afirman lo que debe ser, debería ser, podría ser, se cree que es, se desea que sea, será en el futuro, etc. Tales declaraciones son distintas de las de indicativo, que simplemente afirman lo que es.

- Ejemplo:*
- a) Juan tiene apendicitis.
No se trata de una declaración modal.
será verdadera, o será falsa.
 - b) Es posible que Juan tenga apendicitis. Es una declaración modal: es verdadera si a) lo es, pero puede ser interpretada como verdadera o falsa, si a) es falsa.

Hoy en día, una Lógica Modal se considera como:

- i) Un lenguaje de predicados
- ii) Un conjunto de axiomas clásicos
- iii) Un conjunto de operadores modales, que permiten crear nuevas proposiciones a partir de proposiciones antiguas, así como asignar distintos estados de verdad a una proposición, con lo cual la lógica gana expresividad.
- iv) Un conjunto de reglas sintácticas y semánticas para los operadores modales, es decir, reglas que permitan construir nuevas proposiciones a partir de las antiguas, utilizando operadores modales.

2.11.- Mundos posibles, relaciones de accesibilidad y noción de necesidad.-

El mundo en el que vivimos es el mundo real, pero no es el único que podemos considerar. La conjetura de mundos posibles es útil en varias circunstancias, y entre ellas también se encuentra la Ingeniería del Conocimiento.

Podemos distinguir varios tipos de mundos posibles:

- El término “mundo posible” podría definirse como un mundo que se ajusta a las reglas de la lógica.
- Un mundo “físicamente posible” podría definirse como un mundo que tiene las mismas propiedades que el mundo real.
- Un mundo “moralmente posible” podría definirse como aquél en el que todas las leyes de algún código moral particular son obedecidas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Un mundo “concebiblemente posible” podría definirse como aquél que puede ser concebido.
- Un mundo “temporalment eposible” podría definirse como un mundo que existe en el mismo tiempo e en el futuro del mundo bajo consideración.

Los dos últimos casos indican la necesidad de que los mundos sean definidos como posibles respecto a otros mundos, más que de una forma absoluta.

Llegados a este punto conviene introducir el concepto de AGENTE, que desde un punto de vista formal es un sistema basado en el conocimiento, es decir, una entidad que asigna valor de verdad o falsedad a una proposición, en función de un mundo o base de conocimiento. Hay dos formas de interpretar esta asignación:

- a) A la vista exclusivamente del mundo de la base de conocimiento (w_0). Es la filosofía seguida por la Lógica de Predicados.
Ejemplo:- Esto es lo que hace PROLOG, que utiliza la “hipótesis del mundo cerrado”
 - Otro caso es un programa de ordenador que calcula algo en función de unos datos, y si no los tiene, no lo puede calcular
- b) A la vista de los mundos accesibles por el agente, que hace que una proposición pueda ser verdadera, falsa o indecible (entendiendo que podemos encontrar información que me permita decidir sobre su verdad o falsedad), mientras que en el caso a) una proposición únicamente podrá ser verdadera –si está en la base de conocimiento, o la puedo demostrar a partir de lo que hay en ella, o falsa en caso contrario

Una manera concisa de describir posibilidades relativas entre los mundos en algún conjunto de mundos W es definir una relación binaria R , llamada **relación de accesibilidad**, sobre W , tal que:

$$\forall w_i, w_j \in W$$

$$\langle w_i, w_j \rangle \in R \Leftrightarrow w_j \text{ es posible con respecto a } w_i$$

Consideramos que el usuario tiene siempre w_0 fija, como referencia, y que puede acceder a nuevos conocimientos, pero nunca perder los que ya posee.

De esta forma puedo hacer afirmaciones del tipo:

- “ P es verdadero en w_0 ”, ya que puede no serlo en otro mundo.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- “P {es verdadero/no es verdadero} en todo mundo accesible desde W_0 ”
lo cual es mucho más amplio.

Así la lógica Modal introduce con este fin dos nuevos operadores:

- 1) Una proposición P es *necesariamente verdadera* en un mundo w si y solo si P es verdadero en todos los mundos que son accesibles desde w.

Operador UNIVERSAL $\rightarrow L \text{ Ó } \in$

- 2) Una proposición P es *posiblemente verdadera* en un mundo w si y solo si P no es verdadero en todos los mundos accesibles desde w (no quiere decir que P sea falsa, sino que no puedo demostrar su veracidad).

Operador PARTICULAR $\rightarrow M \text{ ‘o } \diamond$

La verdad posible puede definirse en función de la verdad necesaria:

$$\diamond P \Leftrightarrow \neg \in \neg P$$

2.1.2.- Sintaxis y semántica de las Lógicas Modales.-

Hemos llegado a la conclusión de que esta lógica es considerablemente más expresiva que la Lógica Clásica, ya que aquí podemos encontrar cuatro estados de verdad, para cada uno de los cuales vamos a utilizar una determinada proposición:

- P sólo es verdad en W_0 .
 P
- P es verdad en todo el mundo accesible desde W_0 .
 $\in P = 1$
- * P no es verdad en todo el mundo accesible desde W_0 .
 $\diamond P = 1$
- P es falso. En este apartado se pueden distinguir dos casos:
 - P siempre es falsa, en todos los mundos:
 $\neg P = 1$
 - P es falsa en algunos casos, y verdadera en otros.
 $\in P = 0 \text{ Y } \in \neg P = 0$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La *Indecibilidad* produce un estado intermedio entre lo falso y lo verdadero: lo “no verdadero”. Al último caso se le denomina *estado de incontingencia*. Corresponde con la indecidibilidad, pero estas proposiciones no se tratan como indecidibles.

La utilidad de todo esto es que cualquier deducción hecha como la Lógica Clásica no es revisable, esto es, lo demostrado como verdadero o falso permanecerá siempre así. Sin embargo, con las Lógicas Modales si tenemos una revisión de las cláusulas, ya que mientras no se esté seguro de una proposición, puede quedar en un estado intermedio, marcando dicha **proposición** como revisable, proposición a la que le puede ocurrir que, cuando aumente la base de conocimiento, se la pueda considerar ya como verdadera o falsa (si tengo ya la información suficiente para determinarlo).

Tenemos hasta ahora dos de los cuatro elementos que necesitamos para la construcción de una lógica modal:

- 1) El Lenguaje de la Lógica de Predicados , (L).
- 2) Los dos operadores modales añadidos (operadores Universal y Particular).

Nos resta determinar las reglas sintácticas y semánticas.

A.- SINTAXIS.-

Las reglas sintácticas que debemos tener en cuenta son las siguientes:

- i) Todos los elementos del lenguaje L son fórmulas bien formuladas (f.b.f.)
- ii) **Si F es f.b.f. \rightarrow P y \Diamond P son f.b.f.**
- iii) La combinación de f.b.f. con operadores del lenguaje L, es una f.b.f.

B.- SEMANTICA.-

Serán las reglas que dan valor o contenido a una fórmula . Vamos a considerar las siguientes:

- i) Mantenemos las clásicas reglas semánticas del cálculo de predicados.
- ii) $\Diamond = \neg \Box \neg$

Las demás propiedades semánticas dependen de la *relación de accesibilidad* existente entre mundos, es decir, dependiendo de los mundos a los que podemos acceder desde W_0 , tendremos unas reglas semánticas u otras.

Ejemplo: Si la reflexividad no se da en W_0 , no podremos llegar a W_0 desde W_0 , aunque parezca una regla muy restrictiva. Así si la base de conocimiento no es reflexiva, no permite la búsqueda de conocimiento en dicha base, lo cual da muchos problemas, como es el caso de no poder representar heurísticas ni metaconocimiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Veamos, entonces, las propiedades semánticas posibles:

a) **Reflexiva**.- =

$$\Box P \rightarrow P$$

Se puede interpretar como “Si siempre es verdad P, ahora es verdad P”.

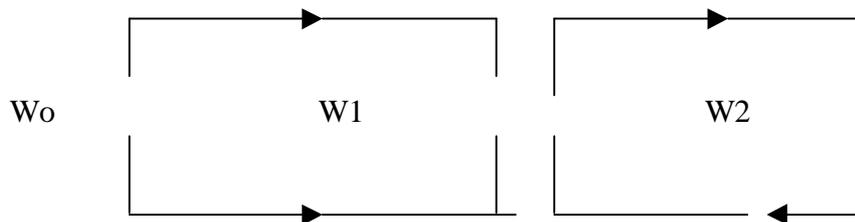
Esta propiedad se da un sistema en el cual, desde cada mundo se puede acceder a dicho mundo, es decir, en bases de conocimiento reflexivas.

b) **Simétrica**.-

$$\Diamond P \rightarrow \Diamond P$$

Se puede interpretar como “Si no sé algo, se que no lo sé”.

Para entender el sentido de esta propiedad, vamos a imaginar que desde W_0 podemos acceder a unos mundos y a otros no. Sin embargo, debido a la simetría, se puede acceder a todos los mundos en uno o varios pasos.



Esto es, si P es posible en W_0 ,

$$\Diamond P$$

se pasa a W_1 y W_2 , generalizándose así para todos:

$$\Box \Diamond P$$

Desde este punto de vista, a este axioma se le llama **Axioma de la Introspección Negativa**, ya que el agente es capaz de mirar a su interior y demostrar que sabe lo que no sabe.

c) **Transitiva**.-

$$P \rightarrow \Box P$$

Se puede interpretar como “Si sé P, sé que sé P”

Este axioma es denominado **Axioma de Introspección Positiva**. Consiste en que si estoy seguro de que P es verdad, entonces estoy seguro de que siempre será verdad.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Un *agente perfectamente consciente* es aquel que cumple los axiomas de introspección positiva y negativa.

2.1.3.- Características de la simetría.-

Vamos a ver ahora que, si introducimos el axioma de introspección negativa en un sistema de accesibilidad no simétrico, podemos llegar a conclusiones erróneas.

Supongamos que tenemos un sistema de accesibilidad temporal (trabaja en el mundo presente y en todos los mundos accesibles desde este). Las propiedades que tiene este sistema son:

* Reflexiva

$$\Box P \rightarrow P$$

* Transitiva

$$P \rightarrow \Box P$$

Aunque se que dicho sistema no es simétrico, introducimos también el axioma de introspección negativa:

$$\Diamond P \rightarrow \Box \Diamond P$$

Las verdades del mundo que vamos a describir son:

A1 vivo (Juán)

A2 \Diamond muerto (Juán)

También puedo incluir las siguientes verdades:

A3 $\Box [\forall x \text{ muerto } (x) \rightarrow \Box \text{ muerto } (x)]$

Aplicando las leyes de la Lógica Clásica. A partir de estas verdades podemos deducir:

A4 $\Box [\forall x \text{ vivo}(x) \rightarrow \neg \text{muerto}(x)]$

i) por particularización, tomando A4 y $x = \text{Juán}$, obtenemos:

$$\Box [\text{vivo}(\text{Juán}) \rightarrow \neg \text{muerto}(\text{Juán})]$$

ii) Si tomamos A4 y la propiedad reflexiva, deduciríamos lo siguiente:

$$\text{Vivo}(\text{Juán}) \rightarrow \neg \text{muerto}(\text{Juán})$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

iii) Mediante la combinación de A1 y el axioma obtenido en el apartado anterior:
 \neg muerto(Juán)

Esto último es algo que nosotros ya sabíamos al ver las verdades de las que partíamos, pero la máquina necesita deducirlo de esta manera, para incorporarlo a su conocimiento.

Las lógicas Modales son intensionales, ya que la verdad o falsedad de una proposición no está en función de que haya unos objetos que la verifiquen (extensión de la proposición), sino de la cualidad del propio resultado.

Lo que queremos demostrar es que si introducimos el axioma de introspección negativa al sistema, podemos llegar a una especie de contrarrecíproco de la forma:

$$\Diamond P \rightarrow \Diamond \Box P \quad | \text{---} \quad \Diamond \Box Q \rightarrow \Box Q$$

siendo $Q = \neg P$.

Haremos la implicación en el sentido $= >$. Aunque es totalmente análoga a la de sentido contrario $< =$

$$\begin{aligned} \Diamond P \rightarrow \Box \Diamond P \rightarrow \Diamond \neg Q \rightarrow \Box \Diamond \neg Q \rightarrow \neg \Box Q \rightarrow \neg \Diamond \neg \Diamond \neg Q \rightarrow \\ \rightarrow \Diamond \neg \Diamond \neg Q \rightarrow \Diamond \Box Q \rightarrow \Box Q \end{aligned}$$

con lo que hemos demostrado que ambas expresiones son equivalentes.

Podemos demostrar esto con un hecho de nuestro mundo:

$$Q = \text{muerto (Juán)}$$

$$A2 = \Diamond Q$$

A partir de esto, podemos deducir:

$$A3 = \Box(Q \rightarrow \Box Q)$$

* “Si Juán está muerto, lo está en todo mundo”.

$$A3 \quad | \text{---} \quad \Box(Q \rightarrow \Box Q) \quad | \text{---} \quad Q \rightarrow \Box Q$$

* En algún mundo futuro, Juán estará muerto para siempre.

$$A3 \quad | \text{---} \quad \Diamond Q \rightarrow Q \quad | \text{---} \quad Q \wedge [Q \rightarrow \Box Q] \quad | \text{---} \quad \Diamond [Q \wedge [Q \rightarrow \Box Q]] \quad | \text{---} \quad \Diamond \Box Q$$

Sin embargo, como tenemos:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\diamond \in Q \rightarrow \in Q$$

podemos interpretarlo como que “si en algún mundo del futuro Juan permanecerá muerto para siempre, es que ya está muerto”, lo cual es realmente falso, y esto se debe a haber introducido un axioma inadecuado.

De manera intuitiva podemos ver que el axioma de introspección negativa (simetría) es inadecuado ya que proyecta la verdad en todos los mundos hacia delante y hacia atrás, lo cual no es correcto en un sistema temporal, ya que verdades del futuro no tiene por qué ser extensivas al presente o al pasado (es decir, hay verdades que sólo son extensivas al futuro).

2.2.2- Lógica situacional,-

Las lógicas descritas hasta ahora están relacionadas principalmente con estructuras relacionales estáticas. Sin embargo, en muchas aplicaciones se necesita almacenar y manejar conocimiento que represente un universo del discurso cambiante. La Lógica de Situaciones (McCarthy y Hayes, 1969) fue desarrollada para este tipo de situaciones.

Supongamos que construimos una lógica de predicados del siguiente modo:

Objetos: A,B, MESA
Estados: SOBRE, ENCIMA

Si tenemos:

i) Una situación S1 en la que el objeto B está sobre el objeto A (que estará sobre la MESA):

$$\text{SOBRE (B,A)} \wedge \text{SOBRE (A, MESA)}$$

y sabemos además que : $\text{SOBRE (B, MESA)} = \text{falso}$

ii) Una situación S2 en la cual, tanto el objeto A como el B, estarán sobre la mesa.

$$\text{SOBRE (A, MESA)} \wedge \text{SOBRE (B, MESA)}$$

Con este tipo de lógica puedes describir situaciones que unas veces sean verdaderas y otras falsas. Así, si añado un argumento más a los estados – la situación S1 o S2-, obtendré: argumento más a los estados-la situación S1 o S2, obtendré:

$$\begin{aligned} \text{SOBRE (B, MESA, S1)} & \Rightarrow \text{falso} \\ \text{SOBRE (B, MESA, S2)} & \Rightarrow \text{true} \end{aligned}$$

con lo que puedo expresar que una cosa sea verdadera o falsa, según la situación en la que nos encontremos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Pero lo que no tenemos definido es el cambio de estado o situación (hemos definido el parámetro, pero no sabemos cómo evoluciona). Para ello se puede establecer la función:

Poner mesa: $S \times B \rightarrow S$

Ejemplo: Si tenemos algo del tipo:

$\text{ponermesa}(A, S) = S'$

querrá decir que si tengo un objeto A que no está sobre la mesa en la situación S, lo pondré sobre la mesa, pasando a la situación S'.

Con esta función ya podemos describir la secuencia de acciones que permite pasar de la situación S1 a la S2.

Para ello, desde la situación S1 he de preguntarme y demostrar si puedo llegar a la situación S2, y si el resultado es afirmativo, podré asegurar que al menos existe una secuencia de acciones para ello. Por tanto, debemos demostrar a partir de S1, si existe una situación Sf, para la que se verifique:

$\text{SOBRE}(\text{MESA}, B, S_f)$

Para ello partimos de las cláusulas de S1:

- 1) $\text{SOBRE}(B, A, S1)$
- 2) $\text{SOBRE}(A, \text{MESA}, S1)$
- 3) $\text{SOBRE}(X, \text{MESA}, S3) \text{ OR } \text{SOBRE}(X, \text{MESA}, \text{ponermesa}(X, S3))$

Añadiremos una cláusula que diga "si X está encima de Y, e Y no es la mesa, X no estará encima de la mesa", para distinguir el hecho de que un objeto esté directamente encima de la mesa, o lo que esté encima de otro objeto:

$\forall S, \forall Z, \forall Y (\text{SOBRE}(Y, Z, S) \vee \neg \text{IGUAL}(Z, \text{MESA}) \rightarrow \neg \text{SOBRE}(Y, \text{MESA}, S))$.

Con esta cláusula señalamos que la mesa es un objeto distinguible en cualquier mundo. Este axioma en forma de cláusula será:

- 4) $\neg \text{SOBRE}(Y, Z, S4) \text{ OR } \text{IGUAL}(Z, \text{MESA}) \text{ OR } \neg \text{SOBRE}(Y, \text{MESA}, S4)$

Añadiremos, por último, los axiomas de conocimiento y el teorema negado, en forma de cláusulas:

- 5) $\neg \text{IGUAL}(A, B)$
- 6) $\neg \text{IGUAL}(B, \text{MESA})$
- 7) $\neg \text{IGUAL}(A, \text{MESA})$
- 8) $\neg \text{SOBRE}(B, \text{MESA}, sf)$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Intentaré resolver siempre aplicando el teorema negado:

i.- Aplicando La unificaciones:

$X \rightarrow B$

$Sf = \text{ponermesa}(X, S3)$

y resolviendo con las cláusulas 3) y 8), obtenemos:

9) SOBRE (B, MESA, S5)

II.- Aplicando las unificaciones:

$Y \rightarrow B$

$S4 \rightarrow S5$

y resolviendo con las cláusulas 9) y 4), obtenemos:

10) \neg SOBRE (B, W, S6) OR IGUAL (W, MESA)

iii.-Mediante la unificación $S7 \rightarrow S1$, y resolviendo con las cláusulas 11) y 1), se llega a NIL.

Con esto se ha demostrado que se puede cambiar la situación S1 a la Sf, y, para ello, la sucesión de acciones coincidirá con la sucesión de unificaciones que hemos tenido que hacer.

Sin embargo, en lugar de hacer esto, se puede aplicar el truco de Green, que consiste en añadir a la cláusula un predicado sin contenido alguno, que se supone siempre falso, y que se llama RESPUESTA (Sf). Lo único que hará es almacenar los cambios, con lo cual, al final del proceso tendremos en Sf la sucesión de acciones necesarias para llevar a él:

\neg SOBRE (B, MESA, Sf) OR RESPUESTA (Sf)

- El inconveniente de este modelo es que no hemos demostrado que sirva para cualquier caso. A esto se le llama PROBLEMA DEL MARCO.
- También está el problema de la CUALIFICACION, que consiste en que condiciones se puede decir que un predicado es verdadero o falso, en función de otros predicados que lo invalide.
- Por tanto, La Lógica Situacional no es más que una pequeña variación de la Lógica Clásica que nos permite describir problemas en el mundo, pero que también presenta sus problemas.

2.3.-Lógicas Temporales.-

La lógica clásica de predicados de primer orden puede utilizarse para razonar acerca del tiempo, considerando que los "tiempos puntuales" son como todas las

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

otras entidades en el dominio de una estructura relacional. Su desarrollo se debe a Lundberg (1982).

Los tiempos puntuales se relacionan entre sí mediante predicados, de la misma manera que se relacionan otros predicados. Así, Lundberg defiende dos predicados "et" y "ss", de tal forma que $et(t_1, t_2)$ significa que t_2 es el sucesor inmediato de t_1 . Las propiedades de las relaciones ET y SS, que están representadas por los predicados et y ss, se expresan en un lenguaje de primer orden definido apropiadamente.

Ejemplo 1:

$$\forall x \forall y [et(x, y) \rightarrow tpt(x) \wedge tpt(y)]$$

donde $tpt(x)$ significa que x es un tiempo puntual.

Ejemplo 2:

$$\forall x \forall y [et(x, y) \vee (x=y) \vee et(y, x) \vee \neg tpt(x) \vee \neg tpt(y)]$$

que puede interpretarse como que para dos tiempos puntuales cualquiera, o bien uno es anterior al otro o son idénticos.

A fin de describir aspectos de las relaciones de tiempo variable, los predicados n -arios son reemplazados por predicados $(n + 1)$ -arios, donde el argumento $(n+1)$ -ésimo es un tiempo puntual.

Podría, entonces hablarse de las Lógicas Temporales como una variante de la Lógica Situacional, a la que se añadirá un parámetro más (el tiempo), de modo que nos permitirán analizar situaciones cambiantes en el tiempo, así como predecir la velocidad en el tiempo para el cambio de un mundo a otro:

$$\text{PREDICADO } (A_1, \dots, A_n) \Rightarrow 0 \text{ ó } 1$$

Sin embargo, presentará muchísimos problemas computacionales, ya que el tiempo es una variable continua que ha de ser convertida en una variable discreta para su procesamiento.

Además, multiplicará *PROBLEMA DEL MARCO*, que consiste en lo siguiente:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

En la base de conocimiento sólo incluiré las proposiciones que son verdaderas y cuando con la lógica Situacional varía unopredicado, habrá proposiciones de la base de conocimiento que pasarán a ser falsas y habrá que eliminarlas, así como proposiciones que eran falsas pero que ahora habrá que incluir por pasar a ser verdaderas.

La *solución* podría ser incluir en la base de conocimiento todas las proposiciones (verdaderas o falsas) y marcar las que sean verdaderas y las que sean falsas, lo cual se complicaría mucho en las Lógicas Temporales, por la cantidad tan inmensa de proposiciones que habría que incluir.

Debido a esto, el intento de construir sistemas expertos con bases de conocimiento cambiantes con el tiempo no ha tenido mucho éxito -por la complejidad adicional introducida por el Problema del Marco-.

La principal ventaja que presentan es poder representar hechos en los tres tiempos: pasado, presente y futuro. Aquí el presente tiene poca identidad, al igual que el futuro, que pasará a presente y quedará como pasado. Para dicha representación se utilizan operadores adicionales, que permiten la descripción de una proposición en el tiempo que ocurre.

2.4.- Lógicas con clase múltiple de objetos.-

En la Lógica clásica de Predicados de primer orden, una estructura relacional contiene un único dominio E de entidades. Los subconjuntos de este dominio están definidos mediante el empleo de predicados unarios (de una posición).

En una lógica de múltiples clases de objetos, el universo del discurso se considera que consta de una estructura relacional en la cual se considera que las entidades del dominio E son de varias clases. Estas clases están relacionadas entre sí de varias maneras para formar una *estructura de clases*.

Ejemplo: Sea $O = \{\text{seres humanos}\} = \{\text{hombres}\} \cup \{\text{mujeres}\}$

Si se define marido (x): seres humanos \rightarrow seres humanos

$\{\text{hombres}\} \rightarrow \{\text{mujeres}\}$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

tendremos una serie de heurísticas y metaconocimientos que nos ayudarán, de modo que ante una pregunta del tipo:

¿Quién es el marido de Pepe?

Reaccionará rechazándola, ya que sabe que Pepe es nombre de hombre y no puede tener marido, con lo que no será necesario buscar en la base de conocimiento.

También se puede definir:

Casado(x,y): seres humanos \rightarrow seres humanos \Rightarrow {0,1}

Este sistema no tiene como objetivo aumentar la expresividad de la lógica (que sigue siendo la que es), pero servirá para hacer buenos sistemas de preguntas-respuestas a la base de datos.

Hay diferentes formas de dividir conjuntos, para llegar a la estructura de clases:

- a) PARTICION: Estructuras en la que todas las clases son distintas.
- b) PARTICION JERARQUICA: Estructuras en las cuales las clases están relacionadas en una estructura arborescente de subconjuntos.
- c) PARTICION RETICULAR: Estructuras en las cuales las clases están relacionadas en un retículo.

Un *retículo* es un conjunto formado por un conjunto y una relación de orden, tal que :

$$R = (A, R) / \forall a, b \in A, \exists (a \vee b) \quad a \leq b \wedge (a \wedge b \geq a \leq b)$$

Por tanto, una partición reticular es aquella que tiene cotas superiores o inferiores.

- La ventaja de dividir entidades del dominio de una estructura relacional en clases distintas, es que se puede ayudar a mejorar la eficacia del razonamiento mecanizado, reduciendo el espacio de búsqueda. Además, los errores y las proposiciones carentes de significado se detectan con facilidad.

Ejemplo: Imaginamos una función binaria, como el producto:

$$F: R \times R \rightarrow R$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

A la cual le podemos aplicar una función, pero de clases:

$$\begin{aligned} f^*: \quad & \{N\} \times \{N\} = \{P\} \times \{P\} = \\ & \{P\} \times \{N\} = \{N\} \times \{P\} = \\ & \{O\} \times \{R\} = \{O\} \end{aligned}$$

Esto no es más que la función de signo, de tal forma que

ha sido extraída a partir del valor absoluto. Es importante, poruq een muchas ocasiones la base de conocimiento sólo se fija en el signo para corregir errores.

- Otra característica de ests lógicas son los *cuantificadores restringidos*, de gran importancia y muy utilizados en lenguaje natural.

Ejemplo: Para todo x, si x es de la clase 01, entonces.....

Todo cuantificador restringido lleva asociado un contestador restringido: sólo se busca en la de conocimiento, dentro de la clase restringidqa de la que se trate.

Esta idea es la que usa PROLOG (lenguqaje declarativo que se basa en la Lógica de Predicados), que utiliza el conceptode clases de equivalencia de una forma particular: hace que todos los hechos sobre un mismo predicado estén juntos, de forma que se facilitan las búsquedas.

Lógicas multivaluadas.-

Se trata de un amplio grupo de ógicas que se obtienen eliminando o alterando una Ley básica de la Lógica Clásica, la *LEY DEL TERCER EXCLUIDO*: "Dada una proposición, sólo puede ser verdadero o falso, excluyendo una tercera posibilidad".

Sin embargo, esta ley es demasiado restringida para representar el mundo real, yqa que en este existen hechos que no pueden clasificarse como verdaderos o falsos. Estos hechos se dividen en los cuatro siguientes grupos:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- a) PROPOSICIONES INDECIBLES= Son aquellas sobre las que no puedo afirmar su veracidad o falsedad, puesto que la base de conocimiento no contiene información suficiente, o no tenemos métodos para resolver. La lógica clásica resuelve esto mediante la *HIPOTESIS DEL MUNDO CERRADO*, según la cual, todo lo que no pertenezca a la base de conocimiento, será falso, lo cual es, también, bastante atrevido. Se llaman proposiciones contradictorias a aquellas para las cuales se puede demostrar veracidad y falsedad al mismo tiempo. Es un grado más de la indecibilidad.
- b) PROPOSICIONES CONTINGENTES FUTURAS= Son aquellas proposiciones en tiempo futuro, que pueden o no ocurrir. *Ejemplo*: "Mañana me tocará la lotería". - Si no llevo lotería es falsa. - Si llevo lotería, es contingente futura, ya que no sé si me tocará o no. La diferencia con las proposiciones indecibles es que, en éstas, la proposición tiene valor de verdad o falsedad, pero yo no poseo la información necesaria para afirmarlo, mientras que en las contingentes futuras el hecho no tiene valor de verdad o falsedad porque no ha tenido lugar todavía.
- c) PARADOJAS SEMANTICAS= Tienen la propiedad de que cuando se les asigna un valor de verdad, cambian dicho valor. Por tanto, no se les puede asignar valores de verdad.
- d) PROPIEDADES SIN FRONTERA DEFINIDA= Existe una gran cantidad de proposiciones, basadas en propiedades vagas sobre objetos del mundo, para las que no se puede asignar un valor de verdad o falsedad a menos que se adopte un convenio taxonómico duro.

Ejemplo: "Esto es abundante"

"Esto es escaso"

A estas proposiciones no se les puede asignar valor, debido a la ambigüedad de los términos abundante y escaso.

Estos cuatro grupos de cláusulas no admiten la Ley del Tercer Excluido, por lo que vamos a ver una serie de modelos lógicos que permitirán clasificar este tipo de proposiciones.

2.5.1.- Lógica de Kleene.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Fue creada para manejar o representar proposiciones contingentes futuras. Será también una lógica con tres posibles valores.

- Verdadero
- Falso
- No tiene valor (en lugar de indecible)

Las tablas de verdad de esta lógica son:

V	$\neg A$		A			AND			OR		
	V	F	V	F	i	V	F	i	V	F	i
V	V	F	V	F	i	V	V	F	V	F	i
F	V	F	V	F	i	F	V	F	F	F	F
F	F	V	V	F	i	V	F	V	V	F	F
i	i	i	V	F	i	V	V	V	V	V	F

i	\Rightarrow			\leftrightarrow		
	V	F	i	V	F	i
V	V	F	i	V	V	F
F	V	V	V	V	V	F
F	V	V	V	V	V	F
i	V	V	V	V	V	F

2.5.2.- Lógica de Lukasiewicz.-

Fue creada para manejar o representar proposiciones contingentes futuras. Será también una lógica con tres posibles valores:

- Verdadero
- Falso
- no tiene valor (en lugar de indecible).

Las tablas de verdad serán iguales que las de la lógica anterior, apareciendo una n donde antes había una i. Se especificarán las tablas correspondientes a \Rightarrow y a \leftrightarrow , en las que, además, cambia un valor (señalado en negrita):

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

n	=	>	V	F	n	<	=	>	V	F
n	V	V	F	n	V	V	F	V	F	F
V	n	F	V	V	n	n	F	V	F	F
n	V	n	n	V	n	V	n	n	n	n

Veamos por qué cambian estos valores:

a) En la LOGICA DE LEENE, supongamos que tenemos:

$$\underset{A}{i} \Rightarrow \underset{B}{i} \text{ -----} \rightarrow i$$

si ambos son indecibles, es poruq etienen un valor, aunque yo lo desconozca.

Si A es falso, sé que B será verdadero, poero si A es verdadero, B puede ser verdadero o falso y no tengo información para distinguir estos casos. De ahí que $i = >$ diga siendo indecible (i).

b) En la LOGICA DE LUKASIEWICZ, si tenemos:

$$\underset{A}{n} = > \underset{B}{n} \text{ -----} \rightarrow \mathbf{V}$$

ni A ni B tendrán valor , puesto que aún no han tenido lugar. De ahí qe $n = >$ no sea acptada como \mathbf{V} , ya que habitualmente se toman como aceptables propoisiciones del tipo:

"Si mañana me toca la lotería , me compro un cohe".

que aun2ue luego no tenga lugar de este modo, de momento se acepta como verdadera.

Esta lógica se ha utilizaod para estudiar la Mecánica Cuántica, donde el estado de las partículas corresponde a proposiciones contingentes futuras.

2.5.4.- Lógica de Belnap.-

Es una variación de la Lógica de Kleene, que surge al trabajar contra bases de datos. Los posibles valores que puede tomar una proposición P son:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- **V** => cuando de la base de datos se deduce P
- **F** = > cuando de la base de datos se deduce $\neg P$
- **i** = > cuando de la base de datos no se deduce ni P ni $\neg P$
- **c** = > cuando de la base de datos se deducen P y $\neg P$.

2.5.5.- Lógica de Lukasiewicz infinitamente valorada.-

Sirve para trabajar con proposiciones correspondientes a propiedades sin frontera bien definida.

Se parte, al igual que en los casos anteriores, de la Lógica Clásica de primer Orden, pero con la particularidad de que la función de verdad no ir´a de L en (0,1), sino que lo har´a en el intervalo [0, 1].

L: predicados
v: L-----→ [0, 1]

Es decir, que de esta forma, podremos asignar un valor de verdad a las proposiciones, donde:

$$\neg (r) = 1-r$$

Podremos afirmar entonces:

- $v (\neg A) = 1-v (A)$
- $v (A \text{ INTERS } B) = \text{MÍN} (v (A), v(B))$
- $v (A \cup B) = \text{máx} (v (A), v (B))$
- $v (A = > B) = \text{mín} (1, 1-v (A) + v(B))$

A la función

$$I (a, b) : [0, 1] \times [0, 1] \text{-----} \rightarrow [0, 1]$$

tal que cada (a, B) se le hace corresponder

$\text{mín} (1, 1-r_1 + r_2)$
se le llama OPERADOR DE IMPLICACION DE LUKASIEWICZ.

Por tanto, el conjunto de proposiciones de la Lógica Clásica con valor 0 ò 1 (proposiciones booleanas), son un

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

subconjunto de La Lógica de Lukasiewicz, con los mismos operadores, restringidos a $\{0, 1\}$.

Hay otros autores que han construido modelos alternativos para proposiciones infinitamente valoradas, de modo que habrá una gran cantidad de operadores de implicación válidos.

Sin embargo se nos plantea la pregunta de por qué sólo existe una lógica booleana posible, pero existen diversas lógicas infinitamente valoradas y todas ellas válidas. Se debe a que con este tipo de proposiciones estamos trabajando con incertidumbre y conceptos vagos, de modo que, dependiendo del tipo de incertidumbre que estoy tratando, deberé elegir un mundo lógico formalmente válido.

Todos los autores consideran, sin embargo, que la negación viene dada por:

$$v(\neg A) = 1 - v(A)$$

pero desde el punto de vista de la Ingeniería del Conocimiento trae problemas. ya que estamos considerando que:

$$\begin{aligned} A \cup \neg A &= 1 \\ A \text{ INTERS. } \neg A &= 0 \end{aligned}$$

lo cual no siempre es así (como podemos ver al trabajar con máximos, mínimos,....)

La conclusión de todo esto es que las medidas no tienen por qué ser aditivas: "el todo no tiene por qué ser igual a la suma de las partes", ya que al unirlos puede que cambien sus propiedades o se potencien, sumando más que el todo.....

Ejemplo: El efecto de dos pastillas de un tipo no exactamente el doble del efecto de una sola pastilla.

2.6.- Lógicas no monotónicas.-

En una lógica monotónica, si se añade un axioma propio a una teoría T para obtener una Teoría T', entonces todos los teoremas de T son también teoremas de T'. Es decir:

$$\text{si } T \vdash P \text{ y } T \subseteq T', \text{ entonces } T' \vdash P$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

En una lógica no monotónica, la adición de una proposición a una teoría puede invalidar conclusiones que podrían haberse hecho previamente.

Hay tres tipos de circunstancias en las cuales el razonamiento no monotónico puede ser apropiado:

- a) Cuando el conocimiento es incompleto, deben hacerse suposiciones por defecto que puedan invalidarse cuando se disponga de más conocimiento.
- b) Cuando el universo del discurso esté cambiante.
- c) En la resolución de problemas donde se hagan suposiciones temporales

a) RAZONAMIENTO POR DEFECTO.

Los seres humanos utilizan a menudo razonamiento por defecto cuando se enfrentan a conocimiento incompleto..

Supongamos que sabemos:

- P es un pájaro.
- P se ha escapado
- La ventana está abierta.

De aquí podemos deducir que "P se escapó volando", siguiendo el siguiente razonamiento por defecto:

Sabemos que P es un pájaro y no
Se dice nada sobre que P no pueda volar = >
⇒ Se supone que P puede volar.

Supongamos que nos dicen ahora que P tiene algún defecto que le impide volar, por lo que debemos revisar nuestra creencia de que P escapó volando.

El conjunto de creencias que poseemos ahora es el que teníamos antes, y además esta última proposición:

P no puede volar

Por tanto, tenemos por un lado que "P no puede volar" pero por las tres primeras cláusulas se sigue pudiendo concluir que "P puede volar", y esto se debe a la monotonía de la Lógica de Predicados.

B) MUNDO CAMBIANTE.-

Considérese un ejemplo similar al anterior, con los siguientes axiomas:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- i) Se nos dice inicialmente que P es un pájaro y que puede volar.
- ii) Se nos dice después que alguien dejó la ventana abierta, y que P escapó.
- iii) Finalmente, se nos dice que P tenía las alas cortadas después de que nos dijeran i) y antes de que nos dijeran ii).

Ahora no tendría que ser posible deducir que "P escapó volando", pero como en la base de conocimiento sigue estando "P no es defectuosa", se puede seguir deduciendo. Por tanto habría que quitar de la base de conocimiento "P no es defectuosa", para que esta no sea contradictoria.

Est ejemplo es similar al de antes, pero difiere ligeramente en que no se ocupa del razonamiento por defecto en presencia de conocimiento incompleto, sino más bien en el razonamiento de conocimiento no actualizado.

C) RAZONAMIENTO BAJO SUPOSICIONES.-

En muchas tareas de resolución de problemas, los seres humanos hacen suposiciones temporales que les permiten alcanzar una solución "posible". Tales suposiciones pueden ser más tarde validadas o invalidadas.

Ejemplo: Preparar una cita entre varias personas: se establece una fecha y se prepara en torno a ella, hasta que alguien nos dice que o p puede asistir, con lo que se cambiará la fecha y se volverá a p prepararlo todo.

Si esto se razonara a través de la monotónia, lo preparado para la primera fecha, sería válido para la segunda, y no es así.

Para intentar resolver el problema de la monotónia, se han intentado básicamente dos métodos:

1) Construyendo **LOGICAS MODALES**: se trata de emplear la mayor potencia expresiva de la Lógica Modal, para absorber los problemas que plantea la monotónia.

Esto quiere decir que la Lógica Modal es monótona porque usa como herramienta la Lógica de Predicados, pero, sin embargo, permite representar o distinguir los casos de indecidibilidad (estados intermedios de verdad), con lo cual, aumentando el número de proposiciones, podemos llegar a saber más del mundo que describimos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Así, McDermott y Doyle (1980) describen una lógica no monotónica que se obtiene de una lógica clásica añadiendo un operador modal M que se suponga "consistente". Informalmente Mp significa que P es consistente con todo lo que se cree.

Ejemplo: Considérese la siguiente teoría:

i) Tenemos una fórmula que puede leerse como "para todo x , si x es un pájaro y si x (puede volar) es consistente con todo lo que creemos, entonces podemos concluir que x puede volar":

$$\forall x [(x, \in, \text{pájaros}) \wedge M(x, \text{puede, volar}) \rightarrow (x, \text{puede, volar})]$$

ii) Otra fórmula que nos diga que P es un pájaro:
 $(P, \in, \text{pájaros})$

De i) e ii) podemos deducir que P puede volar.

Sin embargo, si añadimos la creencia de que P no puede volar, al tener de antes que P podía volar, no es consistente con nuestro conjunto de creencias y debemos rectificar nuestra creencia deductiva de que P puede volar.

McDermott y Doyle han desarrollado un procedimiento de demostración por tableros de lógica clásica. Se trata de un método complejo, pero se van a incluir unos comentarios que pueden ser útiles:

a) El método convencional por tableros se utiliza para demostrar, por ejemplo, $T \vdash P$. Sin embargo, si se construye algún tablero que tenga una fórmula Mq en la columna derecha (falsa) de una rama abierta, entonces debemos construir un tablero con objetivo $T \vdash \neg q$ si tal tablero no se ha construido todavía.

b) El conjunto resultante de de tablero se denomina *estructura de tablero*. Una vez construido, se comprueba que las etiquetas sean admisibles.

c) Si en todas las etiquetas admisibles, el tablero inicial con objetivo $T \rightarrow p$ es etiquetado CERRADO, entonces p es un teorema de T ; en otro caso no lo es.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

P es un pájaro	IN	
P puede volar	OUT	1
3		
P no puede volar	IN	4
5		
P alas recortadas	OUT	
P es un pingüino	IN	

Una lista vacía de justificaciones para un nodo que sea IN significa es aceptado. Una lista vacía de justificaciones para un nodo que sea OUT significa que ese nodo ha sido aceptado previamente y que después ha sido rectificaco.

Con esto, la tabla anterior puede interpretarse como sigue:

- 1) "P es un pájaro" se cree verdadero.
- 2) "P puede volar" es una creencia que no está justificada
- 3) "P no puede volar" es una creencia que sí está justificada por la justificación², es decir, justificada por el nodo 5 que es IN.
- 4) "P tiene las alas recortadas" ha sido una creencia previa, qwue después ha sido rectificada.
- 5) "P es un pingüino" es una creencia.

TMS no crea justificaciones; estas son proporcionadas por el sistema que TMS respalda. El papel de TMS es mantener un conjunto consistente de creencias.

3.- REPRESENTACION MEDIANTE SISTEMAS BASADOS EN REGLAS.-

Indudablemente , el modo de representación del conocimiento más opular dentro de los sistemas expertoses la *representación mediante sistemas basado en reglas*.

Las razones que nos llevan a dedicar un apartado a esta cuestión son los siguientes:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- La mayoría de los sistemas expertos que existen desarrollan paquetes empleando reglas.
- El desarrollo de paquetes de los sistemas expertos basados en reglas es una de las mayores áreas que están siendo direccionadas en investigación de redes neuronales.
- Estos sistemas son normalmente mucho menos caros (en términos, tanto del costo inicial del paquete, como del sobrecosto de usar ese paquete), que aquellos que emplean modos alternativos de representación.
- Las reglas representan un particular modo natural de representar el conocimiento, de manera que el tiempo requerido para aprender como desarrollar las bases de reglas, se minimiza.
- Se tarda menos tiempo en aprender como usar e implementar sistemas expertos basados en reglas
- Las reglas son transparentes, y ciertamente más transparentes que los modos de representación del conocimiento que emplean los dos mayores competidores de los sistemas expertos basados en reglas: marcos y redes neuronales.
- Las bases de reglas deberían de ser de relativamente fácil modificación (inserciones, borrados y revisiones de las reglas).
- Los sistemas expertos basados se pueden utilizar para imitar la mayoría de las características de los esquemas de representación basados en marcos.
- La validación del contenido de los sistemas basados en reglas es un proceso relativamente simple.

Todas estas propiedades justifican el estudio de los sistemas basados en reglas.

3.1.- Concepto de regla de producción.-

Las REGLAS DE PRODUCCION tienen el siguiente formato:

"si PREMISAS entonces CONCLUSIONES"

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

pudiendo ser, tanto las premisas como las conclusiones, bien causas o bien efectos, dependiendo de cómo se constituyen dichas reglas.

Conociendo la estructura de las reglas, y desde este punto de vista, se puede dar otra serie de ventajas ue validan la utilización de este método:

- Es un tipo de representación muy práctico para sistemas de diagnóstico, y puede adaptarse para otro tipo de sistemas.
- Son una buena forma de representar conocimiento procedural, sin tener que escribirlo de forma procedural.

Pueden escribirse también de la forma IF-THEN-ELSE:

```
IF premisas          THEN conclusiones 1
                    ELSE conclusiones 2
```

Pero siempre se utilizan de la forma IF-THEN debido a que:

- i) No es la forma más simple y más atómica
- ii) No es menos potente que la forma IN-THEN-ELSE, ya que ésta puede ponerse siempre como IF-THEN anidados.
- iii) Además, utilizando la Hipótesis del mundo Cerrado (según la cual, lo que no esté escrito en la base de conocimiento se toma como falso), con los IF-THEN-ELSE, con una sola regla podríamos tener definido todo el sistema (si se cumple se hace una cosa, y si no se cumple, otra), con lo que podríamos salir del sistema sin haber obtenido conclusión alguna.

Por todas estas razones, no hay ningún Sistema Experto que implemente las reglas de la forma IF-THEN-ELSE, ni existen herramientas para trabajar de esta forma.

Al trabajar con reglas, hay que utilizar la *implicación material* con ciertos condicionantes, de modo que se está utilizando más una *implicación estricta* que una *implicación material*.

Las reglas pueden implementarse en varios lenguajes:

* PROLOG: Se hará en forma de listas, ya que no admite más de una cláusula en el antecedente. Sin embargo tiene el *inconveniente* de que no es muy bueno de utilizar como demostrador de reglas, ya que

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

no existe inferencia (en el sentido más amplio de la palabra), sino que, más bien, lo que se hace es "casar" hechos con antecedentes para obtener las conclusiones.

* LISP: Es el mejor lenguaje para la implementación de reglas. Se hará con una lista doble, en la cual

- en la primera parte, estarán las premisas
- en la segunda, las conclusiones

Normalmente se suele añadir una tercera lista (no es obligatorio) para asignar un nombre a cada regla, nombre que ha de ser aclaratorio para el programador, así como acorde a su contenido:

```
[ ( premisas ) , ( conclusiones ) ]  
, [ ( nombre ) ]
```

Tanto las premisas como las conclusiones serán cláusulas unidas por los operadores lógicos (NOT, AND y OR), es decir, serán composiciones de cláusulas que tendrán una serie de restricciones.

Una cláusula es un triple de la forma

OBJETO - ATRIBUTO - VALOR

al que suele denominar OAV, o también OVA.

Ejemplo: Supongamos que tenemos:

"Si la altura de Juan es 1.92, entonces Juan es alto"

Premisa *Conclusión*

Si la ponemos en forma de cláusula (triple):

premisa => Juan -altura-1.92
conclusión => Juan - altura- alto

donde el valor de la conclusión ya no será un número, como en la premisa, sino que en este caso será un calificativo.

Cuando uno se construye su propio Sistema Experto, pueden ormarse las cláusulas de manera más libre (puede que no aparezca alguno de los tres elementos del triple), pero al utilizar una herramienta, esto es más estricto, ya que cada elemento aparece como

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

una tripole lista de objeto -atributo- valor, con lo que es mucho más estricto.

Al definir una cláusula hay que tener en cuenta una serie de aspectos:

1) El atributo ha de estar bien definido junto con su valor, aunque se omita el objeto.

Ejemplo: "Un coche rojo es sucio"

Veamos si esta regla está bien construida:

PREMISA => coche - color - rojo

- CONCLUSION => coche - aspecto- sucio
- El atributo "aspecto" no parece ser un atributo muy bien definido de "coche", y además se presta a ambigüedades.
 - El valor "sucio" también es equívoco.

Con este ejemplo hemos visto que al identificar el par "atributo-valor", hay que hacerlo de una manera formal, de forma que no dé lugar a ambigüedad. Esto no quiere decir que haya una única forma válida, pero el atributo que tomemos ha de ser el que utilicemos siempre a partir de ese momento.

Los atributos pueden ser de dos tipos:

- Numéricos
- simbólicos

Ejemplo: Atributo simbólico => color
Atributo numérico => peso, estatura.

2) Siempre se deben emplear o intentar emplear atributos de tipo simbólico, antes que de tipo numérico, y además, en su caso, introducir reglas que relacionen los valores numéricos con sus correspondientes valores simbólicos.

Ejemplo: El atributo "peso" se puede definir como:

- i.- numérico
 - ii.- simbólico = {Pesado, medio, ligero}
- Se debe utilizar la forma ii.-

La preferencia e la utilización de valores simbólicos se debe a la facilidad de no tener que tomar valores exactos para los atributos.

Ejemplo: "Si A es pesado, entonces necesito ayuda"
A esta regla sería necesario añadirle otra del tipo:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

"Si P pertenece al intervalo [100, 200], A es pesado"

Esto presenta dos ventajas:

- Se puede utilizar tanto si el usuario conoce el valor numérico como el simbólico.
- Además de decirme que hacer con los objetos pesados, la introducción de la segunda reglanme permite la identificación de dichos objetos".

Practicamente cualquier varibe numérica se puede definir como variable simbólica, con los dos valores extremos y, en algún caso, algún cuantificador intermedio, con lo que los valores simbólicos tendrán, a lo sumo, siete u ocho valores.

stos vaklores se pueden clasificar:

- Valores legales
- Valores empleados o no

. . .

Además debemos plantearnos la forma de preguntar el valor, y si el objeto es susceptible de ser oreguntado por su valor. Es absurdo preguntar por atributos que puedan aparcer en las conclusiones, ya que los hechos son atributos no deducibles, fijados como verdad.

Hay algunos sistemas que permiten asignar al triple OAV un VALOR DE CONFIANZA., Este valor, para las premisas, no tiene mucho sentido, pero para las conclusiones, dicho factor de confianza tiene el sentido de que cuando obtengamos las conclusiones de las premisas, poodremos creer esas conclusiones con el factor de confiaznza que tengamos.

Ejemplo: (OAV) => OAV (0.7) AND (OAV)
(0.9) -----

A B

C

Se da el hecho A, obtendré el hecho B, creible en un grado 0.7, y el hecho creible en un grado 0.9.

En el caso de que este valor de confianza aparezca en las premisas, significará que al menos he de

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

tener creencia en esas premisas, en el grado especificado, para poder obtener las conclusiones correspondientes.

Clasificación de las expresiones.-

Las expresiones, entendiéndose por estas premisas y cláusulas., se pueden clasificar del siguiente modo:

A.- SIMPLES: Son las que tienen un solo triple OAV.

B.- COMPUESTAS: Son las que tiene más de un triple OAV.

Se dividen en cinco tipos:

- conjuntivas
- disyuntivas
- mixtas
- negativas

Salvo la regla que dice "las reglas han de ser lo más sencillas posibles", no hay ninguna restricción en cuanto a la construcción de las *premisas* (pueden ser conjuntivas, disyuntivas...). Sin embargo, para las *conclusiones* existe una regla que dice que "nunca puede haber conclusiones disyuntivas" (los consecuentes han de ser siempre verdaderos completos).

Ejemplo: Si $A = X$

Entonces $B = Y$ 'o $C = Z$

Cuando nos encontramos con esto, si $A = X$, se dará que $B = Y$ o que $C = Z$, pero no sé cual de las dos es verdad, o si lo son las dos.

Esto podría ser válido si fuera la conclusión final,

Pero si es es una conclusión intermedia en la que hubiera de

Basarme para seguir deduciendo, no serviría, ya que a partir de aquí deduciríamos a partir de suposiciones.

Las expresiones compuestas NEGATIVAS serán algo del tipo:

$\neg (A = X)$

lo cual es bastante complicado de interpretar, ya que puede ser:

A distinto X

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Ó bien *****

Hay dos formas de tratar este caso:

- En el sentido de la Lógica de Predicados, admitiendo que sólo pueden darse situaciones dicotómicas como

= X => 0
distinto X = > 1

- Dando un cierto grado de certeza.

Ejemplo: Imaginemos la siguiente regla simple:

Si A = X 'o B = entonces C = Z

Las variables A y B son variables libres, esto es, atributos definidos pero sin valor. Pero si mirando el mundo que nos rodea (el dominio en el que estamos) observamos que A = X, la parte A = X de la premisa será verdad, lo que hará que la totalidad de la premisa – al ser disyuntiva- sea también verdad, con lo que la variable libre C dejará de serlo, pasando a valer C = Z.

Los hechos sólo pueden dar valor a atributos que aparezcan en las premisas y nunca a atributos de las conclusiones.

Sea ahora la regla:

Si A = X y = Y entonces C = Z

Si observando el dominio se verifica A = X, pero no sabemos nada sobre B, puedendarse varias situaciones:

- dar por falsa toda la premisa
- dar por verdadera toda la premisa
- preguntarnos por el valor de B, y según lo que se nos conteste, actuar..

Así dependiendo del sistema experto que estemos tratando, se puede dar un valor como *desconocido*. Este desconocido tiene también diferentes interpretaciones:

- a) Puede ser un PARAMETRO, normalmente disparador, aunque también puede ser valor:
- Desconocido de valor, como por ejemplo, lo que gana un médico, que es desconocido para Hacienda, y prácticamente imposible de

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

saber, en cuyo caso el sistema experto se detendría.

- Desconocido disparador, como por ejemplo lo que gana un funcionario que puedo no saberlo, pero me basta mirar en las nóminas para conocerlo.

- b) Puede ser también DESCONOCIDO BLACK-LABEL, que es algo totalmente imposible de conocer, y en cuyo caso daré esa parte de la premisa por falsa y no podré llegar a la correspondiente conclusión.

3.2.- Utilización de las reglas de producción.-

Podemos distinguir dos modelos de aplicación de las reglas de producción, a un sistema:

A.- *Con encadenamiento hacia delante.-*

A los sistemas que siguen esta filosofía se les denomina SISTEMAS CONDUCCIDOS POR LOS HECHOS.

La idea en que se basan es la siguiente: Partimos de un conjunto de hechos, miramos todos los atributos pertinentes sobre el objeto que quiero tratar, y pongo la base de hechos por la base de conocimiento, intentando disparar el mayor número de reglas posibles (aquéllas en las que las premisas sean ciertas). Después nos preguntamos si el sistema cumple la condición de parada, en cuyo caso habremos concluido, y en caso contrario, volveremos a empezar.

B.- *Con encadenamiento hacia atrás.-*

A los sistemas que cumplen esta filosofía se les denomina SISTEMAS CONDUCCIDOS POR LOS OBJETIVOS.

La idea en la que se basan es la siguiente: Miraremos cuáles son las reglas que queremos disparar, para las cuales miraremos los hechos correspondientes a sus premisas para ver si son verdaderos o falsos y si dispararán o no la regla correspondiente.

No suele aparecer sistemas puros de uno de estos tipos, sino que la mayoría serán mixtos.

3.3.- Implementación de las reglas de producción.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Las reglas, ya vimos que podían llevar opcionalmente un nombre que no será simplemente un número, sino que será un functor indesado.

Esta lista de nombres no es operativa si miramos estrictamente desde el punto de vista del sistema, pero servirá para buscar, seleccionar, sacar...

- Normalmente, toda regla conlleva un cierto nivel de incertidumbre, que puede ser de varios tipos:
 - Probabilístico
 - Evidencia.
 - Creencia

con lo que a la regla, además del nombre -que irá al principio-, se le añadirá un nuevo elemento -al final- que será el factor de certeza.

Cuando utilizo la certeza en términos de evidencia que apoya a la hipótesis, podrá tomar valores entre 0 y 1.:

- $A \Rightarrow B(1)$: Concluimos B determinante
- $A \Rightarrow B(0)$: No podemos concluir B, luego, es una regla que casi sobra
- $A \Rightarrow B(-1)$: Descartamos Bdeterminantemente (es otra de las formas de
 - introducir reglas negativas).

Puede ocurrir que varias reglas sean posibles ante un hecho, para lo cual se puede introducir en las reglas un nuevo elemento: prioridad / costo.

Con este nuevo elemento, las reglas estarían de la forma:

[(nombre) (PREMISAS) (CONCLUSIONES) (f. certeza) (prioridad)]

El factor de prioridad/costo puede ser global, o bien puede que sea un indicador que lo ligue a una metarregla.

El costo asociado a una regla puede ser:

- i) Directamente de implementación en el ordenador, de modo que una regla con muchas premisas es más difícil de implementar que una más corta.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

ii) Costo de aplicación de la regla a la vida
ral.

* Sde puede añadir a la regla alguna información adicional sobre el modo de encadrnamiento más adecuado (encadenamiento hacia delante o hacia atrás).

Puede ocurrir que, aunque un sistema esté construido con un determinado encadenamiento, en deerminadas partes del mismo se puede cambiar para mejorar la eficidad (por ejemplo, cuando el camino que se está siguiendo nos lleva a hacer preguntas absurdas que no conducen a nada).

Así, as reglas que dan conclusiones intermedias a partir de conclusiones intermedias son un buen caso para que sea posible cambiar de tipo de encadenamiento, para lo que habría que indicar algo como:

"La regla A tiene como encadenamiento hacia delante, pero puede hacerse también hacia atrás".

mientras que las reglas de metaconocimiento no son invertibles, han de hacerse siempre hacia delante.

A pedar de todo, se pueen intentar simplificar las reglas, para lo cual, existen tres principios muy importantes:

a.- "Cuanto más simple, mejor"

Ejemplo: Si tenemos la regla

$$A = X \Rightarrow B = Y \quad \text{AND} \quad C = Z$$

puede simplificarse en las dos rglas:

$$A = X \Rightarrow B = Y$$
$$A = X \Rightarrow C = Z$$

sin embargo, la división de la regla será eficiente según los casos:

- Si se van a utilizzar B y C por separado, sí será conveniente.
- Si se van a utilizr conjuntamente, será más eficiente hacerlo con una sola regla.

b.- "Usar valores simbólicos siempre que sea osible".

c.- "Agrupar y ordenas las reglas".

Esta última regla será inncesaria desde el punto de vista teórico, pero muy importante ese punto de vista práctico.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Las reglas se agruparán por afinidad, dividiéndose en tres grandes bloques:

- Metecocimiento
- Heurística
- Conocimiento.

Además, partiendo de esto, se pueden ordenar también por su frecuencia de uso, para que de esta forma el motor de inferencia llegue en primer lugar a las reglas que más se usan. Esto se puede hacer poniendo a cada regla un *índice de activación*, y reordenándolas según el valor de éste.

También es de gran interés la ordenación de los atributos, desde los más importantes y más generales, hasta los menos importantes.

3.4.- Herramientas para la construcción de reglas.-

A) TABLAS.-

Consisten en asociar una tabla a cada regla de la siguiente forma:

	Claúsula	Objeto	Atributo	Valor
	CP1	.	.	.
PREMISA	CP2	.	.	.
	CPn	.	.	.

	CC1	.	.	.
CONCLUSION	CC2	.	.	.
	CCn	.	.	.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- En la parte de la *conclusión*, las cláusulas serán siempre de tipo disyuntivo.
- En la parte de la *premisa*. pueden ser conjuntivas o disyuntivas, de modo que entre sus cláusulas puede introducirse algún tipo de functor que las relacione.

B) GRAFO DE DEPENDENCIA / INFERENCIA. -

Es una forma de dibujar el grafo de la búsqueda que luego va a utilizar el motor de inferencia.

Podemos optar por pintar todo el grafo de dependencias, pero no se suele hacer por ser prácticamente imposible, de modo que se suele optar por pintar sólo aquella parte que nos interese.

Un grafo de inferencia es un grafo ordenado que utiliza la siguiente nomenclatura:

\Leftarrow → **Hechos**

\circ → **Conclusiones finales**

\Leftarrow → **Conclusiones intermedias**

\supset → **Nodos Y**

\wedge → **Nodos O**

Este grafo es una ayuda para el grafo de búsqueda en la inferencia de reglas.

Esto me sirve para saber:

- Que puedo hacer con los hechos que tengo (en el razonamiento para ADELANTE)
- Que preguntas tengo que hacer para llegar a un nodo final, o como necesito usar lo que tengo para llegar a una conclusión (en el razonamiento hacia ATRÁS).

3.5.- Validación de una base de reglas.-

Entendemos por VALIDACION e hecho de que si lo construido tiene su utilidad en algún lugar.

En este caso vamos a tratar la validación de un sistema experto basado en reglas, proceso que puede dividirse en varias etapas:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- i.- Validación de completitud (sintáctica).
- ii.- Validación de consistencia (semántica)
- iii.- Validación de uso.

Vamos a proceder al desarrollo más detallado de cada una de estas etapas:

I.- COMPLETITUD

Un error muy común es la existencia de atributos y valores de atributos en mucha mayor cantidad de la empleada en la realidad, es decir, **valores no empleados**. Este error no es muy grave, pero hay que tenerlo en cuenta porque consume.

Otro error es la existencia de **valores no legales**, es decir, emplear en los atributos, valores que no han sido definidos. Se trata de un error más grave.

Un error fácilmente detectable con el grafo de inferencias son las **metas o conclusiones inalcanzables**, ya que el árbol nos dice el camino para llegar a cualquier meta, y si no llegamos nunca es porque se tratará de una meta inalcanzable.

II.- CONSISTENCIA.-

Podemos ver varios casos:

- 1) Redundancia: Supongamos que me encuentro las siguientes dos reglas:

$$\begin{aligned}A & \Rightarrow B \\ A & \Rightarrow B \text{ AND } C\end{aligned}$$

Tenemos dos reglas que dicen lo mismo, ya que la segunda se puede descomponer dando lugar a la primera. En este caso eliminaríamos la primera regla, ya que la segunda tiene más información.

- 2) Conflictos: Supongamos lo siguiente:

$$\begin{aligned}A = X & \Rightarrow B = Y \\ A = X & \Rightarrow B = Z\end{aligned}$$

Aquí se produce un conflicto, que puede ser de cinco tipos:

- Una contradicción, es decir, que de las dos cosas que concluyo, una contradiga a la otra. Esta situación he de resolverla de alguna forma.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Otra forma puede ser que que no se contradigan, sino que una incluya a la otra, que sea más general, o más específica,...., en cuyo caso me quedaré con la que interese en cada caso.
- que no tenga en las premisas suficientes términos discriminatorios.

Un caso de conflicto muy típico es:

$$A \Rightarrow \neg B$$

$$A \Rightarrow B$$

que puede ser que A no tenga absolutamente nada que ver con B (e indistintamente unas veces concluya B y otras $\neg B$), de modo que eliminando ambas reglas se acabará el conflicto.

Las tablas son muy buenas para trabajar con reglas conflictivas. y lo que hace con ellas es estudiarlas con mas profundidad, asignando a cada una de ellas un cierto grado de confianza.

.,m

3) Reglas sumergidas: Supongamos:

$$A \text{ AND } C \Rightarrow B$$

$$A \Rightarrow B$$

Tiene dos orígenes:

- Sobra de cláusulas en la premisa más larga (causa más común).
- Falta de cláusulas en la premisa más corta.

III.- USO.-

Hay que validar si la base de reglas está bien, si deriva o no el motor de inferencia....

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.- INTRODUCCION.-

Los lenguajes de lógica formal permiten representar varios aspectos del universo. Sin embargo, no permiten estructurar este conocimiento para reflejar la estructura de aquella parte del universo que lo represente, es decir, los conocimientos que se representan no aparecen ligados entre sí.

Ejemplo: Supongamos que representamos los siguientes hechos en un lenguaje de lógica de predicados de primer orden, utilizando notación infija:

(Juán esttacasadocon María)
(Juán estaempleadopor IBM)
(Juán tiencolordeojos azul)

Según la lógica formal, no hay manera de agrupar fórmulas tales como éstas, que se relacionan con un aspecto concreto del Universo (en este caso Juán).

Las reglas de producción, por su lado, tampoco tienen nada implícito que nos diga que dos conceptos están relacionados en un mismo conjunto.

Sin embargo, el conocimiento humano es estructurado, y de hecho, los objetos son objetos en tanto que son portadores de una relación de una determinada clase.

En Inteligencia Artificial se han reflejado técnicas que pretenden captar la idea de reconocimiento estructurado, llamado *MODELOS ESTRUCTURADOS*.

Estos modelos pertenecen fundamentalmente a dos grandes categorías o patrones de modelo:

- A) **RED SEMANTICA:** El conocimiento se representa mediante grafos.
- B) **FRAME:** Se colocan conceptos ordenadamente para definir otros conceptos subordinando unos conceptos a otros).

Ambas categorías están muy unidas entre sí, y a su vez, cada una ellas tiene su propia filosofía que aplica a unos determinados tipos de conocimiento, aunque cada sistema se podrá hacer de ambas formas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

v.- Las declaraciones tales como "la altura de Juan es 1,7 metros y sigue aumentando" también son representables mediante redes semánticas.

En 1869, James Mills estableció que no siempre se hablaba de los objetos con la misma categoría, es decir, que no siempre le aplicamos el mismo valor. Así, al usar un mismo concepto, distinguió:

- tipo
- ejemplo o instancia de ese tipo.

Ejemplo: - Si tenemos "los libros tienen hojas", se está utilizando el concepto libro como un estereotipo.
En cambio, para el caso "Mi libro es de Cervantes", se está hablando de una instancia concreta del estereotipo del libro.

En 1966, Ross Quillian introduce el concepto de REDES SEMANTICAS basándose en lo que él llamó **memoria asociativa** o **memoria semántica**

del ser humano. De este modo, mediante el estudio semántico del lenguaje, dio lugar a la representación mediante grafos, donde:

- Los NODOS son hechos con el significado
- Los ARCOS representan la relación entre los hechos.

2.1.-Modelo de Quillian.-

A) Comenzamos distinguiendo dos tipos de NODOS:

A1.- *Nodos distinguidos*, que corresponderá con el estereotipo. Van recuadrados. Todo grafo ha de empezar por un nodo de este tipo.

A2.- *Nodos no distinguidos*, que corresponden a las instancias o ejemplos. Se representan sin recuadrar.

B) En cuanto a los ARCOS tenemos los siguientes casos:

B1.- ---->: Dependencia SIMPLE, válida para todo tipo de dependencias (inclusión, pertenencia....)

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

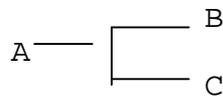
B2.->->->--: Dependencia OBLE, representada con arcos conectados, 2ue se usa para todi tipo de conexinismo.

Ejemplo:

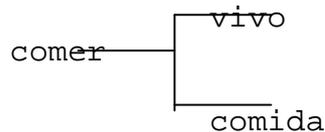
sr vivo->-> nace ->-> crece->-> se
reproduce->-> muere

La implementación de esta idea se haría mediante punteros, de forma que los arcos conectados serán punteros a punteros ligados.

B3.- La liga de A con B y C (dependencia TRIPLE) se representa por:

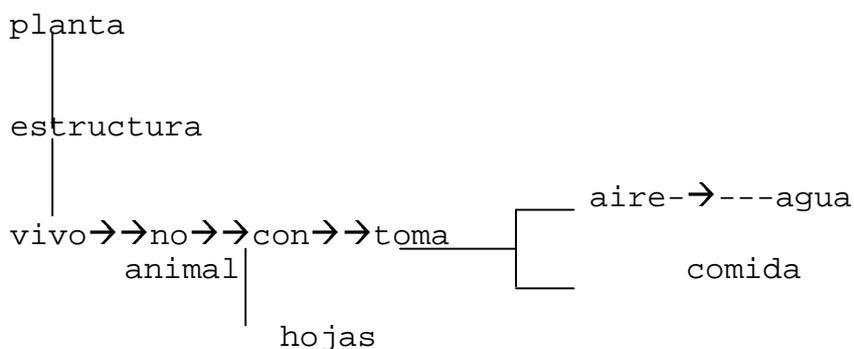


Ejemplo:



Toda acción tendrá, al menos, dos objetos (agente y objeto) que se relacionan. Así, un ser vivo interaccionará en la comida comiéndosela.

Ejemplo: Podemos ver como ejemplo, una de las primeras redes de Quillian:



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Un problema de esta red es que la representación del nodo "no animal", ya que su estereotipo es el contrario al estereotipo de animal", lo cual no es muy claro de definir.

Ejemplo: Se puede decir que un "no animal" es un ser no vivo, pero esto también puede ser un animal muerto.

Lo que se hizo fue añadir a cada nodo una compatibilidad, para establecer el estereotipo de cada tipo, y a "no animal" se le asignó una compatibilidad o (C=).

Otro problema es que para aun mismo concepto (por ejemplo, nodo planta), puede haber distintas connotaciones, de modo que debe permitirse sacar diferentes arcos del nodo planta.

Una red puede ponerse de muchas formas, pero cuando se elige una representación hay que seguir ya con ella.

Sin embargo a Quillian le surgen problemas a raíz de los nodos no distinguidos, pero éste es un problema de implementación. Para ello está el concepto de **memoria asociativa**, que consiste en una malla de punteros que van ligando nodos mediante relaciones, y cuando aparezcan dos nodos no distinguibles iguales, pertenecen al mismo puntero.

Todo este estudio no dio a Quillian los resultados esperados, ya que él pretendía llegar a un modelo que lo representara todo y que, además, fuera fácil de implementar, y con el modelo que creó, sólo podía representar el presente de indicativo.

2.2.- Modelo de Winston.-

Se basaba más en la idea de la asociación:

parte

arco

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

B A C apoyado+
apoyado apoyado-

i z q u i e r d a

d e r e c h a

b l o q u e

Es mejor modificar el número de arcos existentes (aunque haya muchos), que es el número de tipos existentes, es decir, es tener 200 arcos del mismo tipo, que 200 tipos de arcos.

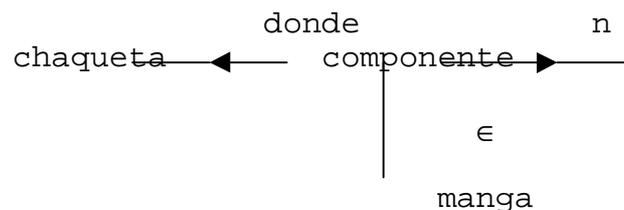
Básicamente, los tres conceptos básicos de las redes semánticas son:

- relaciones binarias
- ligaduras entre conceptos
- ligaduras entre estereotipos y ejemplos.

pero se tendió a extender esta idea a conceptos más amplios, como las relaciones n-arias (ternarias, cuaternarias....). Estos pueden ser convertibles a red semántica, estableciendo un nodo genérico de componentes.

Ejemplo 1: Una relación ternaria podría ser:
"Una chaqueta tiene dos mangas"

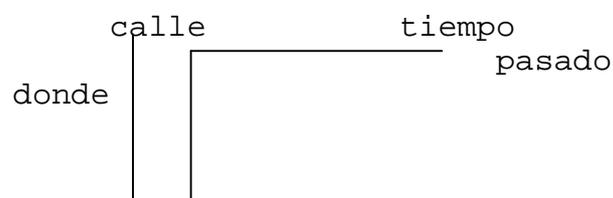
que expresado en forma de red semántica sería:



Otra ventaja de las redes semánticas es que con ellas, podemos llegar a expresar acciones en el tiempo.

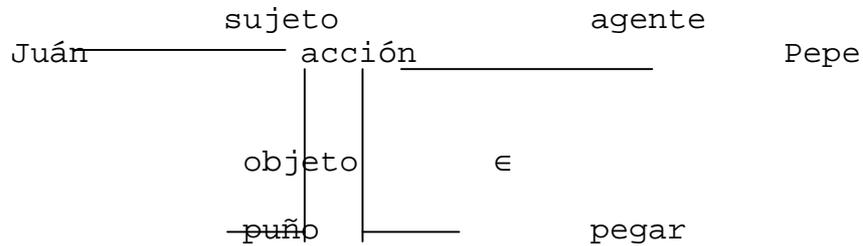
Ejemplo 2: "Pepe pegó a "Juán un puñetazo en la calle".

Quedaría como red semántica.



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

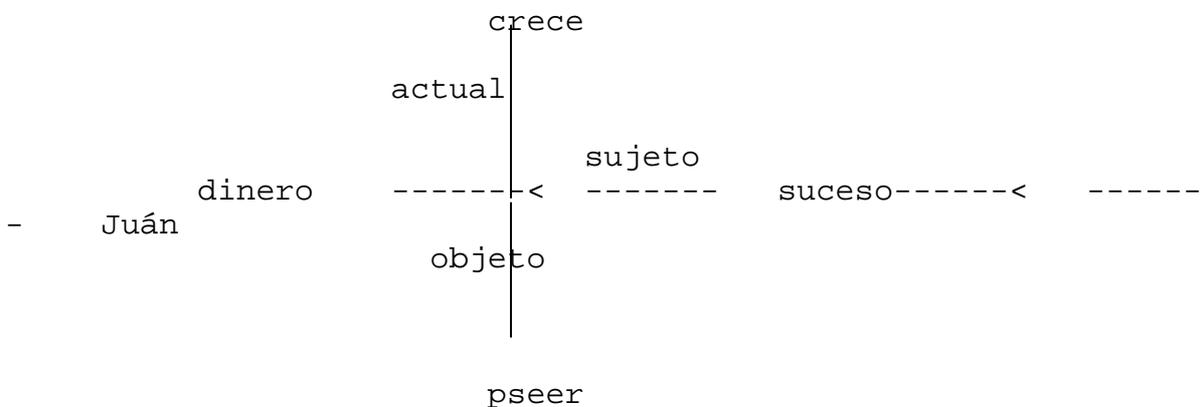
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



En los dos ejemplos que hemos visto, aparece "donde", pero el papel que hacen es diferente para cada uno de los casos. Además, el "donde" del ejemplo2 podría hacer que se interpretara la "calle" como una parte del cuerpo. Hemos de tener cuidado al utilizar este tipo de conectores, ya que el significado que tenga en la primera de sus apariciones es la que debe mantenerse todas las demás veces que aparezca en la red semántica.

También podemos expresar acciones como sucesos (afirmaciones).

Ejemplo:



Por último podemos señalar que con las redes semánticas se pueden representar relaciones causa-efecto.

Ventajas e inconvenientes de las redes semánticas.-

- Cuantas menos primitivas tengamos en una red semántica, mejor, aunque no hasta el grado de confundir los conceptos.
- Con las redes semánticas, como con cualquier aplicación en el ordenador, es necesario expresar explícitamente las relaciones complejas. Si no queremos hacerlo, podemos introducir reglas, pero ya no estamos haciendo la representación como red semántica.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

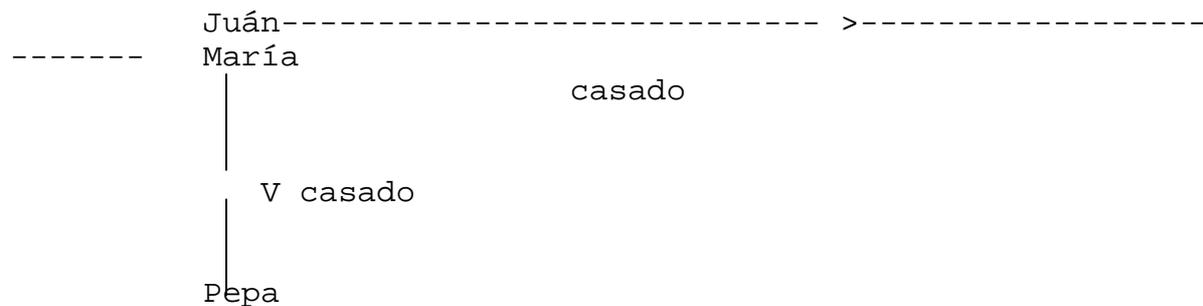
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

En la red semántica y extendida, los términos se representan mediante nodos, y los predicados binarios mediante arcos etiquetados. Los componentes de condiciones y conclusiones se representan mediante diferentes tipos de arco.

Estos ARCOS pueden ser de dos tipos:

- Los arcos que ligan hechos a la derecha de la implicación, se representan líneas discontinuas. Permiten representar hechos positivos
- Los arcos que ligan hechos a la izquierda de la implicación se representan con líneas continuas. Permiten representar implicaciones como tales.

Ejemplo: “*Juán y María no están casados*”



Cuando nos encontremos una misma relación, que aparece una vez con línea continua y otra con discontinua, tendremos una CONTRADICCIÓN.

El modelo de Kowalski no permite que existan hechos negativos, de modo que hemos de expresar sólo hechos positivos, llegando así a la FORMA CLAUSAL DE KOWALSKI.

La red semántica extendida puede ser considerada no sólo como una variante sintáctica de la forma Kowalski de lógica, sino como una estructura de dato abstracta que se utiliza para guiar procedimientos de prueba. Este enfoque se ha utilizado en el desarrollo de métodos de prueba de grafos de conexión.

2.4.- Otros modelos.-

Desde el punto de vista de la lingüística, han existido autores que han desarrollado modelos similares a éstos.

Las primitivas del lenguaje que hemos utilizado en redes semánticas tienen un inconveniente: Las relaciones entre

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

sujeto y acción son siempre las mismas, parece una especie de modelo de memoria, aunque en realidad sabemos que no es así.

Chomsky criticó y discutió las relaciones sujeto-objeto, y a partir de sus estudios surgieron una serie de modelos de representación basados, más en la lingüística, que en la memoria, y que se parecen mucho a las redes semánticas. Entre ellos se puede destacar:

A) GRAMÁTICA DE CASOS (Fillmore): Introduce ligaduras entre acciones y objetos, hasta de seis tipos:

- Objeto y agente (el que realiza la acción).
- Objeto instrumento.
- Objeto directo (caso objetivo).
- Objeto indirecto (caso dativo).
- Objeto circunstancial (lugqr).
- Objeto factual.

B) DEPENDENCIA CONCEPTUAL (Shanck, 1972): es una de las gramáticas que más influencia han tenido dentro de la Inteligencia Artificial, y nos dice que las primitivas que se pueden utilizar son más de las vistas hasta ahora.

Para Shanck, en un problema de representación del conocimiento existen cinco tipos de **elementos** u **objetos**:

- entidades
- acciones
- casos
- tiempos
- dependencia.

i.- Las entidades son los productores de imágenes, o productores de actores (PP) y los ayudantes de actores (PA), según los llamó Shanck.

ii.- Las acciones se representan como:

ACT: acciones

AA: ayuda a la acción (lo que la modifica)

Las **primitivas de las acciones** (ACT) son:

ATRANS: Transferencia abstracta

PTRANS: Transferencia física de un objeto de un sitio a otro.

MTRANS: Transferencia de información

CONC: Concentrar un órgano sensorial en un estímulo.

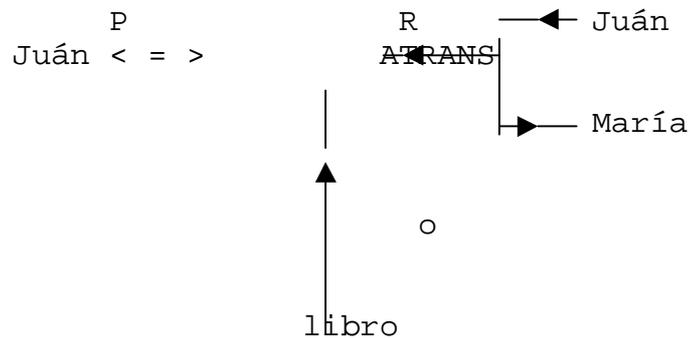
Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

*: Recepción

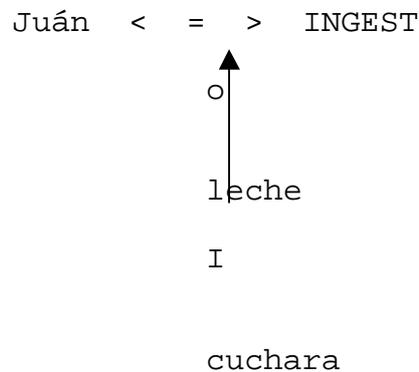
Ejemplo: "Juán le dio un libro a María"

En este caso "dio" no representa una transferencia física, sino un paso de propiedad (ATRANS). Si ponemos PTRANS, significa que en vez de llevarlo Juán, lo lleva María, y no que ahora sea de María.



* Instrumental.

Ejemplo: "Juán se toma la leche con na cuchara"



HASTA FRAME SIB COPISAR

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.- FRAMES.-

Fueron desarrollados por Minsky en 1975, quién se basó en la memoria de representación, más que en la memoria semántica. Or tanto, en base a la capacidad del ser humano de reconocer objetos, se llega al concepto de ESTEREOTIPO.

Ejemplo: Cuando se define "silla", no se trata de un objeto concreto "silla"
Sino que nos estaremos refiriendo a un modelo o estereotipo de
Un objeto que corresponde con las características de "silla".
De esta forma, cuando observamos un objeto concreto que
corresponde con esas características, identificamos una "silla"
por su similitud al estereotipo correspondiente.

Un ESTEREOTIPO es una representación mental formal de un objeto, mientras que un OBJETO es una instanciación concreta de un estereotipo, con unas restricciones particulares.

Minsky lo definió como un casillero (frame), donde hay una serie de ranuras (slots). Cada ranura corresponde a un atributo específico de ese objeto o de esa acción. Así cada objeto de la clase será un frame perfectamente relleno con los atributos del estereotipo.

Los ATRIBUTOS pueden ser de los siguientes tipos:

- a) Valores simples: Un típico caso de este tipo es la estatura de una persona, que se dará como un valor simple (número de metros, centímetros...., que mide esa persona). Pueden ser numéricos o simbólicos.
- b) Valores genéricos: Son valores que definen una clase. Como ejemplo puede mencionarse el número de cristales que tienen unas gafas, dato que está previamente relleno y no lo podemos cambiar.
- c) Condiciones: Un ejemplo puede ser que el sueldo de una persona está entre un cierto valor y otro cierto valor.
- d) Valores por defecto: Típicamente una silla tiene cuatro patas. Este será el valor por defecto en caso de duda, aunque se aceptan sillas con otra constitución.
- e) Procedimientos: La potencia fiscal de un coche se puede hallar mediante una fórmula, en función de los

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

centímetros cúbicos, aunque sea un dato que por sí mismo no conozca.

- f) Punteros: Hacen referencia a otra cosa, como por ejemplo, "ver el libro de instrucciones".
- g) Otro frame: Por ejemplo, el propietario de un coche (slot del frame coche), puede ser otro frame.

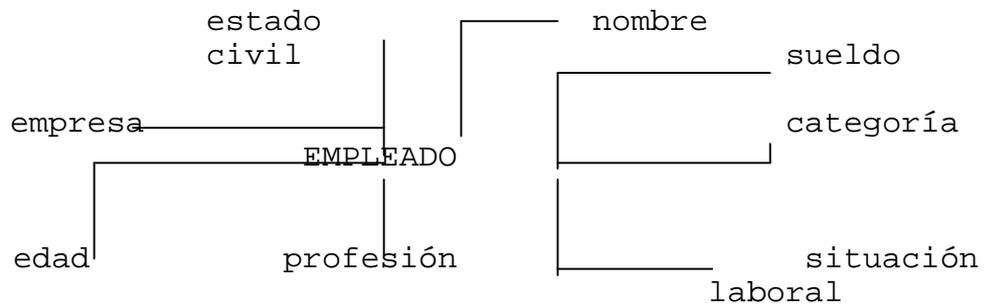
Un mismo objeto puede rellenar varios estereotipos, ya que un estereotipo es una construcción mental que no tiene que ver con los objetos físicos, aunque refleja clase de objetos.

Ejemplo: Los estereotipos EMPLEADOS Y PADRES DE FAMILIA se rellenan con muchos atributos comunes, e incluso pueden ser rellenos por una misma persona.

3.1.- Representación de los frames.-

- 1) Se pueden representar mediante REDES SEMANTICAS, donde habría un nodo central correspondiente al frame, y arcos por cada uno de los slots.

Ejemplo:



- 2) Otra forma de representar los frames es:

EMPLEADO
Empresa
Nombre

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Situación laboral

Categoría
Sueldo - >

En el slot "sueldo" aparece - >, que no es más que un puntero a un procedimiento que calcule el sueldo, o a otro frame en el que estén los resultados.

La representación habitual es mediante listas (punteros y listas de punteros -grafos-), al igual que para las redes semánticas. La diferencia es que para los frames se utilizan listas estructuradas (encapsulando cada lista a un functor). La lista está encabezada por el nombre del frame, al cual le siguen los atributos, con tanta profundidad como se desee.

Los estereotipos no se usan aislados, sino que se asociarán de forma similar a como se hacía con las redes semánticas.

Ejemplo: Vamos a ver el frame de un COCHE

COCHE	
	Vehículo
	automovil
	pasajeros
	< = 2000 Kg
	➤ = 3 ruedas

- Simplemente, con los atributos especificados puedo distinguir un coche.
- Con el slot que dice que sirve para el transporte de pasajeros, elimino la posibilidad de que sea un camión o una furgoneta.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Al pesar menos de 2000 Kg, se elimina la posibilidad de que se trate de un autobús, que cumplía todas propiedades anteriores.
- Al tener como mínimo tres ruedas, se diferencia de una motocicleta.
- En el resto de los slots (representados mediante los puntos suspensivos), irán atributos de menor importancia, como modelo, marca,.....

Minsky distinguió dos tipos de atributos:

- A) GENERICOS: definen al estereotipo.
- B) DEMAS ATRIBUTO S ESPECIFICOS: Definen un item concreto.

Si aplicamos esto al ejemplo anterior, sería:

```
( COCHE ( GEN ( objeto: vehículo )
          ( tipo:   automovil )
          ( Uso:   pasajeros )
          ( peso :  < = 2000 )
          ( ruedas :> = 3 )
          ( marca : Seat )
          ( modelo:127 )
          ( potencia fiscal : - )
          .....
        ) )
```

Con los atributos genéricos podemos distinguir un coche, aunque no conozca la marca u otros atributos específicos. Por tanto, el acoplaje de estos últimos atributos no tiene que ser perfecto, pero hay que acoplar al 100% los atributos genéricos.

Actualmente este tipo de lista no se utiliza, sino que en cada valor se indica si se trata de un valor genérico o por defecto, sin realizar la anterior estructura.

Los valores por defecto son valores genéricos no esenciales, es decir, los tiene todos los individuos de una clase, salvo algunas excepciones. Este valor por defecto, también tiene grados:

Ejemplo:

```
mesa----- > 4 patas
perro ----- > 4 patas.
```

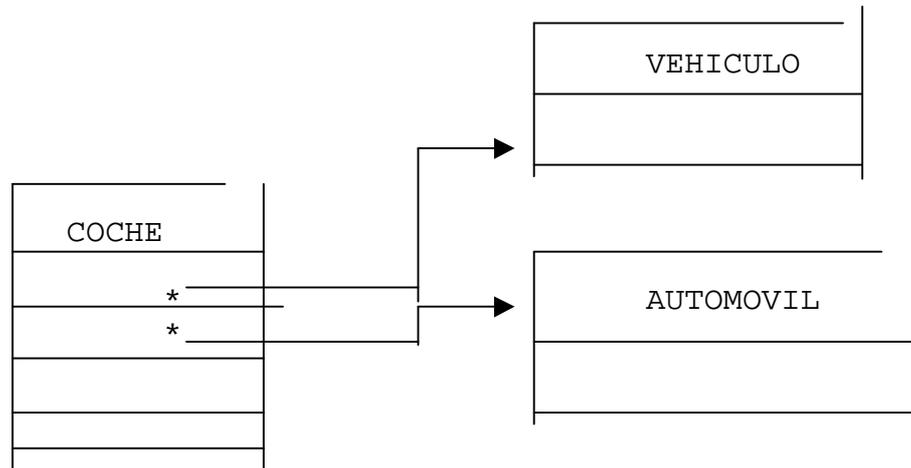
Si nos encontramos una mesa con tres patas, no nos sorprende, pero sí lo que vemos es un perro con tres patas, sí. Esto es un ejemplo de la diferencia de grado en el valor por defecto.

Con esto lo que hemos hecho es construir una red semántica, ya que hemos definido un frame (coche) en función

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

de otros frames (vehículo, automóvil, ...) es decir, se establece una jerarquía de frames. Y es debido a que podemos expresar los valores genéricos como punteros a otros frames, se puede construir la siguiente estructura de frames para el estereotipo COCHE:



.....

Las relaciones existentes en las redes de frames son PADRE - HIJO, HERMANOS, y otras como SIMILARIDAD, DISIMILARIDAD.....

3.2.- Uso de los frames.-

- Una vez contruidos como representación del estereotipo de un objeto, según Minsky, su mayor utilidad es la de clasificación, es decir, cuando los valores genéricos no casan a la perfección, el objeto nos e clasifica. Sin embargo, en la vida real no ocurre así, sino que en muchas ocasiones se hacen acoplajes parciales.
- El segundo uso es la inferencia de los valores por defecto, es decir,, una vez clasificado un ítem dentro de un estereotipo, se asignar a dicho ítem los valores por defecto que posea el frame correspondiente.
- El tercer uso es el de la inferencia por analogía, donde los frames se usan para describir los slots de un frame, por analogía:

Ejemplo: "Juán es un mulo"

referirnos a que Juán tiene atributo como grande, fuerte....
con esta sentencia queremos

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- Se pueden definir todas las vistas de un objeto, sin más que establecer el frame correspondiente a cada una de las vistas.

3.3.-Ventajas e inconvenientes de los frames.-

A) Como VENTAJAS conviene destacar las siguientes:

a.- Los frames son atractivos intuitivamente. El agrupamiento de propiedades relacionadas con una entidad o un conjunto de entidades es "natural" en el sentido de que las personas están bastante familiarizadas con este enfoque, y lo utilizan en la conversación de cada día.

b.- La estructura de los frames da cabida a una taxonomía del conocimiento.

c.- Los valores por defecto tiene cabida.

d.- Las propiedades genéricas.

e.- El conocimiento procedural, así como el declarativo, pueden ser representados.

f.- Los frames facilitan el razonamiento analógico.

B) En cuanto a los INCONVENIENTES, podemos señalar:

a.- No hay, por el momento, una teoría formal sobre frames. En consecuencia los mecanismos para la inferencia y la verificación de consistencia no se basan en una semántica bien definida.

b.- El mecanismo para razonar con razonamiento incierto tampoco tiene fundamento formal.

4.- GUIONES (SCRIPT).-

Todas las representaciones de conocimiento vistas hasta ahora son estáticas, es decir, representan un hecho, un objeto....., aquí y ahora.

Sin embargo, el conocimiento real es dinámico, esto es, hay secuencias de acciones que es necesario representar.

Los estereotipos también sirven para representar conocimiento dinámico. Es más, existen las acciones estereotipadas.

Ejemplo: "Levantarse por la mañana" es una acción estereotipada

que consiste en:

- levantarse
- desayunar
- lavarse los dientes

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Con esta idea Shank introdujo el concepto de GUIÓN, que se puede definir como la representación de una secuencia estereotipada de acciones. Puede verse como una secuencia de frames dilatada en el tiempo, o como un conjunto de frames entre los cuales existe una dependencia temporal.

4.1.- Características de los guiones.-

Tipicamente un guión consta de :

- 1) Un conjunto de condiciones de entrada, es decir, un conjunto de pares atributo-valor que permiten disparar la secuencia estereotipada de acciones.

Ejemplo: GUIÓN: "Entrar en un restaurante".

CONDICIONES DE ENTRADA: - tener hambre
- no poder ir a casa
- tener un compromiso.
.....

- 2) Un conjunto de condiciones de salida, que son un conjunto de pares-atributo-valor, que quedan rellenos cuando termina el guión.

Ejemplo: GUIÓN: "Ir a un restaurante"

CONDICIONES DE SALIDA:- tener menos dinero
- tener menos hambre
.....

- 3) Los materiales, o el conjunto de objetos que intervendrían típicamente en ejemplificaciones del guión.

Ejemplo: GUIÓN: "Ir a un restaurante"

MATERIALES: - mesas
- sillas
. . . .

- 4) Los personajes o actores que intervienen e influyen en el desarrollo del guión.

Ejemplo: GUIÓN: "Ir a un restaurante"

PERSONAJES: -comensales
-camareros

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

....

- 5) Las escenas, que constituyen el núcleo del guión. Son cada uno de los estereotipos de acción que forman el guión (son frames), y según Shanck, se describen mediante los elementos anteriores, junto con las dependencias conceptuales que el mismo Shank estableció.

Los guiones simplemente se han desarrollado como método de representación experimental, debido a su alto costo de implementación. Su único desarrollo exitoso se ha obtenido en modelos de planificación.

De todos modos, Shank encontraba la máxima utilidad de los guiones en su capacidad de contestar a las preguntas del tipo:

¿ Porqué entró Juan en el Restaurante?

que se podría contrastar en función de las condiciones de entrada y las de salida.

4.2.- Ejemplos de sistemas basados en guiones.-

i.- SAM (Cullingford, 1981) es un sistema basado en guiones que se ha utilizado para comprender artículos de periódicos.

ii.- IPP (Lebowitz, 1980) es un sistema basado en guiones que se orienta a los problemas de integración de analizadores sintácticos de lenguaje natural y a la actualización de la memoria. Este sistema lleva a cabo seis tareas:

- analiza sintacticamente el lenguaje natural
- añade nuevas historias a una memoria de larga duración
- reconoce similitudes con historias previas
- resalta aspectos interesantes de las historias
- hace generalizaciones basadas en historias similares
- predice acontecimientos futuros probables, basados en las generalizaciones hechas.

5.- OTRAS REPRESENTACIONES.-

Podemos, para finalizar, comentar algún tipo de representación adicional:

- A) La idea de la REPRESENTACION FUNCIONAL tiene como objetivo no hacer distinciones entre los objetos o

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

entidades que aparecen en el conocimiento, y
tratarlos todos bajo un mismo punto de vista.

Ejemplo:

curso (alumno)
alumno (curso)

ambas son entidades de un mismo sistema, luego no hay distinción.

B) La REPRESENTACION ORIENTADA A OBJETOS consiste en representar el objeto como cualquier entidad del conocimiento, y se hará mediante llamadas de uno objetos a otros (funciones clásicas), o como llamadas a objetos desde el sistema (procedimientos del propio sistema).

Este modelo de representación funciona bien a dos niveles:

- C.A.D. o infografía
- Ofimática

En conclusión, cada vez que se aborda un problema de representación del conocimiento, implícitamente estamos tratando un problema de "representación del universo". Para implementar un conocimiento hay que buscar un modelo de representación adecuada para este conocimiento, en el cual hemos de tener definidos los predicados y los objetos. Posteriormente hay que estudiar cuáles son las primitivas de los predicados.

En cualquier representación escogida, se ha de adaptar una VISION DEL UNIVERSO, que ha de ser:

- h) lo suficientemente amplia para contener todos los objetos.
- i) lo suficientemente estrecha para poder ser representada

Esta disyuntiva es la base de la Ingeniería del Conocimiento.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

TEMA 5 : TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRES EN SISTEMAS EXPERTOS .

1.- EL PROBLEMA DE LA INCERTIDUMBRE EN INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO.-

1.1.-MEDIDA DE LA INCERTIDUMBRE.

2.- MODELOS PROBABILISTICOS.-

2.1.-TEORIA DE LA PROBABILIDAD.-

2.1.1.- La probabilidad como medida.

2.2.-TEORIA DE LOS FACTORES DE CERTEZA.

2.2.1.- Tratamiento de la incertidumbre en MYCIN.

2.2.2.- Propagación del factor de certeza.

2.2.3.- Propagación de los valores de evidencia.

3.- APROXIMACIONES BIDIMENSIONALES A LA TEORIA DE LA INCERTIDUMBRE.-

3.1.-TEORIA DE LA EVIDENCIA DE DEMPSTER-SHAFFER.

3.1.1.- Reglas de Dempster.

3.2.- INFERNO.

4.- METODOS DE EVALUACION DE LA INCERTIDUMBRE MEDIANTE CONJUNTOS.-

4.1.-TEORIA DE LA INCIDENCIA DE BUNDY.

4.2.-TEORIA DE LOS SUBCONJUNTOS DIFUSOS.

4.2.1.- Relación binaria difusa

4.2.2.- Números difusos.

4.2.3.- Variables lingüísticas.

4.2.4.- Frames difusos.

4.2.5.- Sistemas de control.

4.3.-TEORIA DE LA MEDIDA DE LA POSIBILIDAD.

4.4.-TEORIA DE LOS "ROUGH SETS".

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.- EL PROBLEMA DE LA INCERTIDUMBRE EN LA INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO.-

Hasta ahora se ha visto que existen hechos bien definidos (x e y están casados), o hechos mal definidos (Pepe está loco), pero es posible hacer observaciones con toda seguridad sobre un hecho u otro, ya que bien o mal conocidos se puede tener perfecta creencia de ellos.

Ejemplo: $c(\text{loco}(\text{pepe})=0.7) = 1$
 $c(\text{casados}(\text{pepe}, \text{juana}) = 0) = 1$

Se puede tener perfecta creencia de que Pepe está loco con un grado 0.7, o de que Pepe y Juana están casados. También es posible tener creencia parcial sobre estos hechos.

Ejemplo: $c(\text{loco}(\text{pepe}) = 0.7) = 0.7$
 $c(\text{casados}(\text{pepe}, \text{juana}) = 0) = 0.5$

Se cree con un grado 0.7 de creencia que Pepe está loco en grado 0.7, y, ni se sabe si Pepe y Juana están casados, puede que sea cierto o puede que no.

La realidad es que los hechos siempre están bien definidos, es el experto el que no los observa bien, o que los observa desde diferentes puntos de vista.

Desde MYCIN y PROSPECTOR todos los esquemas de representación del conocimiento incluyen un grado de creencia sobre los conocimientos que contienen - incertidumbre-, como un elemento más de dicho esquema, ya que empieza a tomarse conciencia de que el conocimiento no es preciso.

Para el estudio de estos valores de incertidumbre de los hechos, se tiende a la creación de diversas medidas de incertidumbre.

1.1.-Medidas de incertidumbre.-

Una teoría de medición e la incertidumbre tienen tres componentes:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1.- Concepto de medida a utilizar y técnicas de medición, que dependerá del tipo de incertidumbre a tratar.

Existen dos formas de obtener las medidas:

- a partir de los expertos
- Mediante experimentos.

2.- Forma de combinar las medidas de un conocimiento para obtener las medidas de otros conocimientos, es decir, extraer medidas de conocimientos complejos a partir de medidas de casos simples.

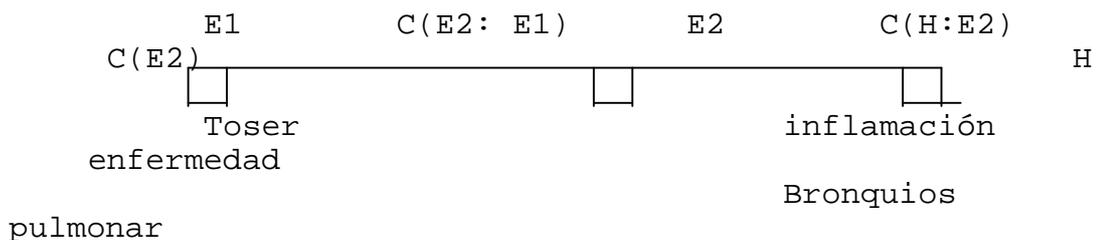
Ejemplo: Si se tiene $m(A)$ y $m(B)$, se puede obtener $m(A \cup B)$, $m(A \text{ Implica } B)$ y $m(B/A)$

Existen dos problemas básicos en la combinación:

- a) Si se tiene una serie de evidencias ($E_1 \dots E_n$) que soportan una hipótesis (H_i), al haber observado sólo las evidencias no se tiene certeza del grado de creencia de la hipótesis.
- b) Cuando se tiene dos fuentes de información que dan una misma evidencia con diferentes certezas.

3.- propagar y actualizar.-

La definición de propagación se va a hacer mediante el siguiente ejemplo:



Si se sabe que alguien tose, esa persona tiene inflamación de los bronquios, y si es así, enfermedad pulmonar, entonces como se puede asegurar que alguien tiene enfermedad pulmonar en función de que se le ha visto toser, es decir, que valor tiene $C(H)$.

La ACTUALIZACIÓN consiste en cómo variar el grado de certeza de las hipótesis cuando aparece una nueva evidencia con la que no se había contado.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.- MODELOS PROBABILISTICOS.-

2.1.- Teoría de la probabilidad.-

La Teoría de la Probabilidad es una teoría muy antigua y, al mismo tiempo, muy bien estructurada. Algunos S.E. como PROSPECTOR tienen el conocimiento estructurado en función de esta teoría.

La PROBABILIDAD se puede definir como el grado de creencia a priori sobre la realización o no de un hecho incierto. El fenómeno o hecho ha de estar perfectamente definido, es decir, se deben saber todos los posibles resultados.

El desconocimiento es "a priori", ya que en cuanto se realiza el hecho ya no existe duda alguna.

Dentro de la probabilidad, es posible distinguir dos vertientes:

- a) Los objetivistas opinan que la probabilidad es una propiedad del suceso, es decir, una cualidad inherente al fenómeno.
- b) Los subjetivistas opinan lo contrario, es decir, que es una propiedad inherente no al suceso, sino del que evalúa dicho suceso, y prueba de ello es que dos mismos sujetos pueden asignar distinta probabilidad a un mismo suceso.

Desde el punto de vista objetivista, la probabilidad se define como:

$$\frac{\text{Casos favorables}}{\text{Casos posibles}}$$

En Ingeniería del Conocimiento, la forma de obtención de las medidas de probabilidad es preguntando a los expertos, y haciendo los experimentos correspondientes.

Como TECNICAS DE COMBINACIÓN tenemos:

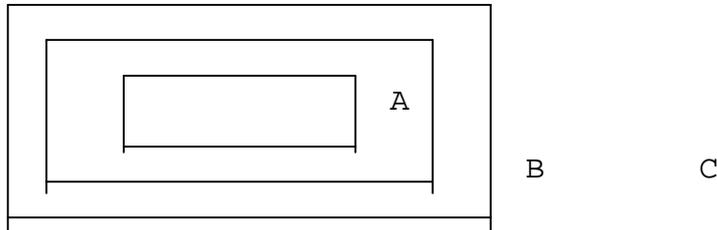
- $P(A \cup B)$
- $P(A \cap B)$
- Probabilidad condicionada:

$$P(A/B) = \frac{P(A)}{P(B) \neq 0}$$

$$P(B) \neq 0$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.



-A es una causa de B, luego si se observa A, automáticamente se da B, lo cual quiere decir, que A es una causa efecto de B, ya que con A se tiene la probabilidad 1 de que se dé B.
 -B es una evidencia de A.

La probabilidad condicionada es una regla abductiva que da la probabilidad de que se dé A, supuesto que se ha dado B. Permite observar las relaciones "causa-efecto" abductivas o deductivas.

Se va a utilizar la siguiente NOTACION:

HIPOTESIS (H) -----> causas
 EVIDENCIAS (E) -----> efectos
 E<-----> H

Con lo cual:

$P(E/H) = 1$ -----> DEDUCCION: La probabilidad de que se obtenga el efecto dadas las causas es total.

$P(H/E) = 1$ -----> ABDUCCION: Grado de creencia de que sé dan las causas para determinados efectos.

$P(E)$ -----> Probabilidad de que un individuo tosa.

$P(H)$ -----> Probabilidad de que un individuo tenga la gripe (al azar).

La PROBABILIDAD TOTAL es la probabilidad de que se pueda obtener una evidencia soportada por varias hipótesis:

H1

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

H2

$$P(E) = \sum_{H_i} P(E / H_i) P(H_i)$$

La herramienta de propagación y actualización típica es el TEOREMA DE BAYES:

$$P(H_i/E) = \frac{P(E/H) P(H)}{P(E)}$$

La probabilidad "a posteriori" de la hipótesis H_i a la luz de la evidencia E , es la probabilidad condicionada por la probabilidad "a priori" de H_i , partido por la probabilidad de evidencia.

Hay problemas que formalmente se comportarían como un modelo de probabilidad, pero las conclusiones han de interpretarse correctamente.

2.2.2.- La probabilidad como medida.-

Al considerar la probabilidad como medida, cabe destacar dos problemas fundamentales:

- Un mal manejo de la ignorancia.
- Un fuerte espacio muestral considerado.

a) Un mal manejo de ignorancia: Se tiene ignorancia de un suceso cuando se tiene información sobre él, pero ningún grado de creencia de lo que va a pasar a priori.

La probabilidad no puede trabajar cuando no tiene suficiente información. Esto es el resuelto con el principio de LAPLACE ó de la RAZON INSUFICIENTE, el cual dice:

"Si se tiene un fenómeno con n resultados posibles y no se conoce la probabilidad de ninguno de ellos, a priori se le asigna a cada uno de dichos resultados una probabilidad de $1/n$ ". MODELO DE LA EQUIPROBABILIDAD.

Es muy conveniente hacer destacar que la probabilidad es medida muy perfecta, por lo que necesita mucha información. Por ello, si se tiene un fenómeno que no está bien definido, hay que aplicarle el modelo de la ignorancia.

Ejemplo:: Supóngase que se tiene 100 bolas, que pueden ser rojas, blancas

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

y negras, y además se sabe que hay
 ≥ 20 rojas
 ≥ 10 blancas
 ≥ 1 negra

No se tiene suficiente información para calcular la probabilidad, de modo que hay que aplicarle el Método de las Equiprobabilidades.

En este caso la probabilidad tendría que saber el color de cada una de las bolas, pues se necesita información de cada uno de los puntos del espacio muestral.

b) Un fuerte espacio muestral considerado
Supóngase que se tiene A y \bar{A} de las que no se conoce nada, de tal forma que se consideran con probabilidad 0.5 cada una.

A
\bar{A}

Ejemplo: A- romperse un brazo
 \bar{A} - no romperselo.

Si \bar{A} se divide en dos : B y $\bar{A}\bar{B}$, como no se reconoce nada de ellos, hay que asignar probabilidad de 1/3 PARA CADA UNO POR EL Método de las Equiprobabilidades.

A
B
$\bar{A}\bar{B}$

Ejemplo: A- romperse un brazo
B romperse una pierna
 $\bar{A}\bar{B}$ no romperse nada

\bar{A} ahora tiene probabilidad 2/3 en lugar de 1/2 con lo que se ha conseguido disminuir la probabilidad. Este hecho es debido a que se depende fuertemente del espacio muestral considerado

Además de lo señalado, la probabilidad también tiene otros dos problemas adicionales:

A) Problema del computo.-

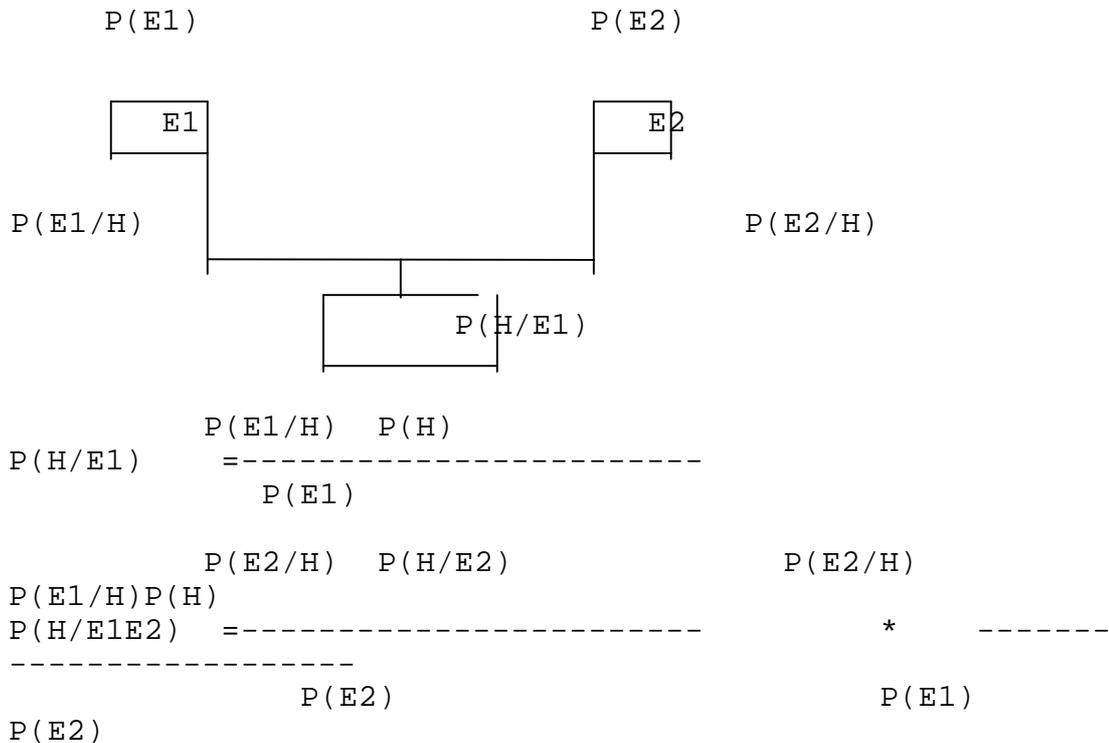
$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El problema radica en el hecho de que la probabilidad de la intersección es difícil de calcular.

B) Problema planteado por el Teorema de BAYES.-



Como es fácil de observar, el cálculo del Teorema de Bayes contiene muchas operaciones, lo cual lo hace difícil de calcular.

2.2.- Teoría de los factores de certeza.-

MAQUINA ENIGMA (polaca, 2ª Guerra Mundial(: Se trata de una máquina de escribir tal que al pulsar una tecla, se marca la letra correspondiente (o el mensaje) que corresponde a dicha tecla, y no la tecla en sí.

Alan Turing se encargó del desciframiento de los mensajes, e intentó construir una máquina mecánica basada en el Teorema de Bayes. Esta máquina hacía muchas operaciones, pero sin llegar a ninguna conclusión, por lo que se propuso estudiar la Teoría de Probabilidades para modificar el Teorema de Bayes. Alan estudió a expertos de probabilidad en carreras de caballos, llegando a la conclusión de que :

$$O(A) = \frac{P(A)}{P(B)}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

es debida a que hay que tener en cuenta que un suceso y su probabilidad van siempre unidos.

Por lo cual se puede llegar a otra conclusión del Teorema de Bayes:

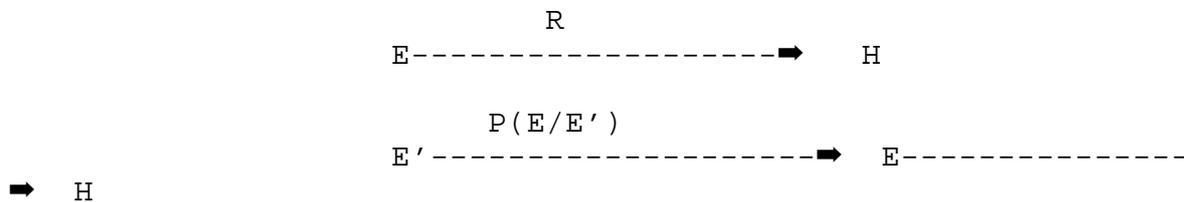
$$O(H/\bar{E}) = \lambda^{-1} O(H)$$

Obteniendo el FACTOR DE NECESIDAD O SUFICIENCIA de E' respecto a H, el cual da el grado en que se cree o se rechaza H partiendo el hecho de que no se observa E. Este factor también es llamado $Ln(E,H) = Ls(\neg E,H)$.

- c) Al razonar en términos de EVIDENCIA INCIERTAS, las probabilidades se obtienen de los expertos, y éstos se equivocan frecuentemente al tomarlas.

Ejemplo: Cálculo de la probabilidad de tener fiebre suponiendo que la probabilidad de tener la gripe es 0.8.

El proceso se hace en varias fases:



$$\begin{aligned}
 P(H/\neg E) &= P(H/\neg E) + [P(H/E) - P(H/\neg E)] P(E/E') \\
 P(H, \neg E/E') &= P(H/\neg E) * P(\neg E/E') \\
 P(H/E') &= P(H/\neg E) * P(\neg E/E') + [P(H/E) - P(H/\neg E)] P(E/E')
 \end{aligned}$$

Si se realizara una representación gráfica, se observaría que la probabilidad va aumentando linealmente conforme aumenta P(E) y P(H), es decir:

$$\begin{aligned}
 P(E/E') &= P(E) \\
 P(H/E') &= P(H)
 \end{aligned}$$

Como la probabilidad de E' no afecta a la de E porque son independientes, tampoco afectará a la probabilidad de H, con lo que al hacer P(H/E') se obtiene la probabilidad de H pura, ya que la evidencia no da información alguna.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

El problema se debe a que normalmente los expertos no respetan la linealidad, sobrevalorando la posibilidad de las evidencias, o lo que es lo mismo, subvalorando el crecimiento lineal de la probabilidad.

Para ello hay estudios de propagación de restricciones que actúan sobre los valores de probabilidad dados por los expertos, estabilizándolos y eliminando las incongruencias existentes, en cuyo caso ya se podrían utilizar dichos valores.

2.2.1.- Tratamiento de la incertidumbre en MYCIN..

En el S.E. MYCIN, observando como funcionaban los expertos, se inventó una teoría que posteriormente se estudió y reformó debido a que era totalmente empírica, del trabajo de los expertos.

La idea de Shortliffe y Buchannan se basa en dos principios fundamentales:

- i) Existen evidencias que soportan, y otras evidencias que rechazan, principio que o contemplaba la Teoría Clásica de la Probabilidad.
- ii) El aumento de creencia sobre la observación es una evidencia, no es absoluta, de forma que, se trabaja con tasas de creencia y no con observaciones absolutas..

El estudio de los expertos consistía en asignar a cada regla un factor de certeza de la siguiente forma:

R
E----->H: Cf (R : FACTOR DE CERTEZA
Cf(H/E): Cambio proporcional de
certeza sobre H al observar
E.

De esta forma, el factor de certeza no es una medida absoluta, sino de una medida que posibilita la actualización de una creencia.

Las valoraciones del factor de certeza son:

- Cf = 1 : La evidencia E sostiene absolutamente la certeza de la hipótesis H.

- Cf = 0 : La evidencia E no aporta nada acerca de la hipótesis H.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- $C_f = -1$: La evidencia E rechaza absolutamente la hipótesis H, independientemente del grado actual del conocimiento H.

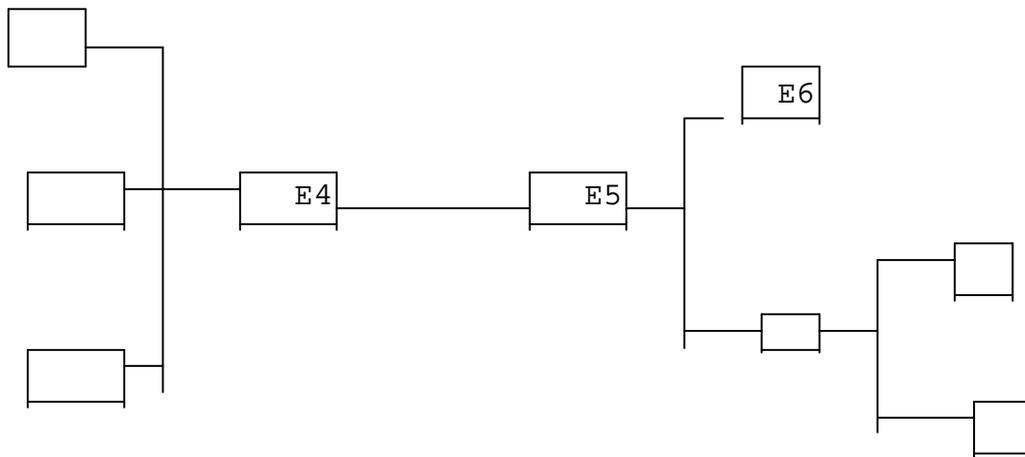
Por tanto, a cada suceso se le asigna un VALOR DE CERTEZA ABSOLUTO además de este valor relativo:

$$C(S) \in [-1,1]$$

-	$C(S) = -1$:	FALSO
-	$C(S) = 0$:	?
-	$C(S) = 1$:	CIERTO

La idea de base de este estudio no es un valor absoluto, sino que supone un cambio en la certeza de un suceso.

Este planteamiento está diseñado para sistemas de reglas, para el cual existe UN GRAFO DE INFERENCIAS:



En este grafo todos los nodos son evidencias, no habiendo hipótesis, sino que una evidencia puede apoyar a la otra. Cada arco tendrá asociado un valor de certeza.

El problema ahora es ver la evidencia de propagación de un camino determinado. Es decir, la propagación del factor de certeza que sostiene a los nodos del grafo.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

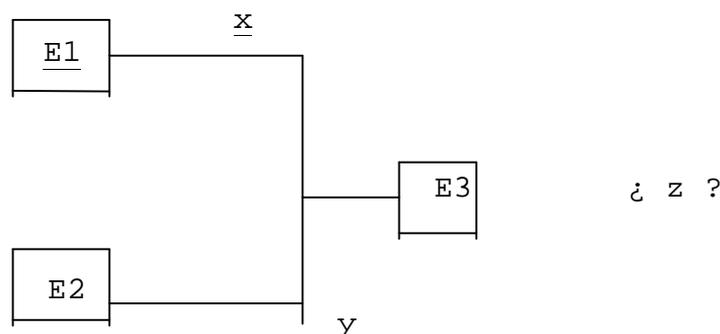
Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

2.2.2. Propagación del factor de certeza.-

La propagación del factor de certeza se realiza mediante dos esquemas básicos:

- Esquema paralelo
- Esquema serial.

A) Esquema paralelo. - Se observan las evidencias por separado (x e y) para concluir otra evidencia con grado de certeza z.



$$Z = \begin{cases} (1) & x + y - xy & \text{si } x, y \in [0,1] \\ (2) & \frac{x + y}{1 - \min(|x|, |y|)} & \text{Si } x, y \text{ tienen signo distinto} \\ (3) & x + y + xy & \text{Si } x, y \in [0, -1] \end{cases}$$

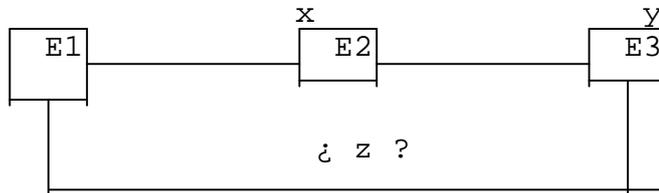
Para obtener z se tienen en cuenta los valores de certeza de las evidencias que se tienen (x,y), de tal forma que hay una ponderación:

- (1) Ambas evidencias se apoyan en la hipótesis, por ello se resta su producto para ponderar el resultado.
- (2) Si una evidencia apoya la hipótesis, y otra la rechaza, se tiene en cuenta un factor que divide por el máximo del valor absoluto de ambas evidencias, haciendo una normalización. Cuando la diferencia entre las evidencias es muy grande, se potencia la que da más información, y tanto más cuanto mayor sea la diferencia. En el caso de que la diferencia sea muy pequeña el valor de z resultante es despreciable, de forma que se evitan ruidos.
- (3) Ambas evidencias rechazan la hipótesis por lo que se le suma el producto para ponderarlas.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

b) Esquema serial. - Una evidencia soporta a la otra, y ésta a la conclusión, y así sucesivamente



$$z = \begin{cases} (1) & x * y & \text{si } x \geq 0 \\ (2) & x * y' & \text{si } x < 0 \end{cases} \text{ donde } y' = \text{Cf}(\neg E, H)$$

El valor de z se obtiene a partir de las evidencias:

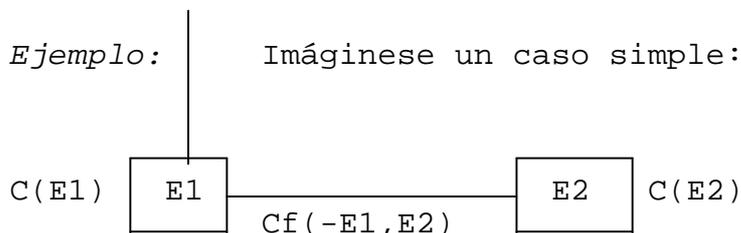
- (1) Si E1 apoya a E2, entonces se observa directamente a E3 mediante y .
- (2) Si E1 rechaza a E2, entonces se observa $\neg E2$, por lo que se cambia a la regla $\neg E2 \rightarrow E3$, con el problema adicional de que esta regla no exista, en cuyo caso se le asigna el valor 0 (no se sabe lo que ocurre).

Una EVIDENCIA en el árbol puede tener valor verdad ó falso si ha sido observada, y en el caso de que no haya sido observada tendrá el valor 0. El valor de certeza de una evidencia puede ser obtenido por tres caminos diferentes:

- Observación
- Actualización
- Valor 0 (no observado)

Ejemplo:

Imágines un caso simple:



A continuación se va a calcular la actualización del valor de certeza de E2 a partir de E1.

¿ $C(E2/E1)$?

Se pueden dar varios casos:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

i) $C(E1) = 1$: Se conoce el factor de evidencia de E1 con certeza.

$$\begin{array}{l}
 0 \\
 \geq 0 \\
 C(E2/E1) = \\
 - \text{dist. signo} \\
 < 0 \\
 C(E2) < 0
 \end{array}
 \left[
 \begin{array}{l}
 C(E2) + Cf(E1, E2) (1 - C(E2)) \quad Cf \geq \\
 \text{(se avanza)} \quad C(E2) \\
 \\
 C(E2) + Cf(E1, E2) \\
 \text{-----} \\
 1 - \min\{C(E2) : , : Cf(E1, E2) : \} \\
 \text{(se anulan)} \\
 \\
 C(E2) + Cf(E1, E2) (1 + C(E2)) \quad Cf \\
 \text{(retroceso)} \\
 < 0
 \end{array}
 \right.$$

Un hecho a destacar en la Teoría de Factores de Certeza es que las proposiciones no tienen por que ser simples., atómicas, sino que pueden ser combinación de varias proposiciones. Es decir, cuando se tenga algo del tipo:

Si p entonces q
 p ó q pueden ser combinación de proposiciones.

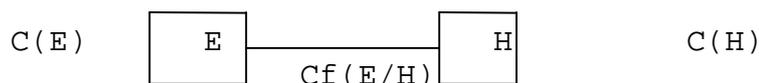
Ejemplo: $p = (p1 \cap p2) \cup p3 \cup \neg p5$

La forma de calcular el factor de certeza de una proposición compleja en función de proposiciones simples se hace siguiendo las siguientes reglas:

- i) $C(P1 \cup P2) = \max (C(P1), C(P2))$
- ii) $C(P1 \cap P2) = \min (C(P1) , C(P2))$
- iii) $C(\neg P) = 1 - C(P)$

2.2.3.- Propagación de los valores de evidencia.-

Por propagación se entiende el hecho de cómo se actualizan los valores de evidencia.



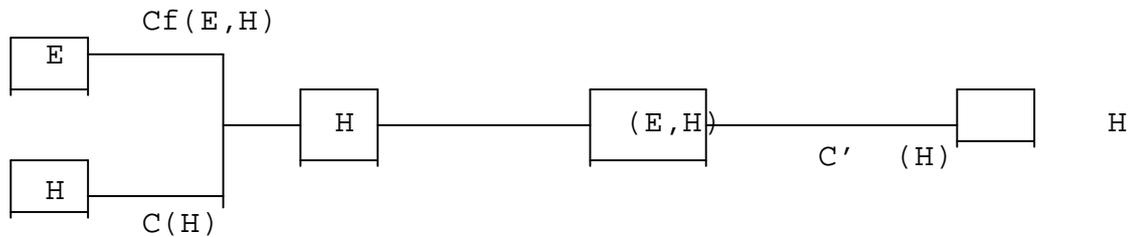
Si se observa E con un valor de certeza $C(E)$, se ha de calcular el nuevo valor de $C(H) - C(H')$ - para el nuevo valor de creencia.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Pueden ocurrir varios casos con respecto al valor de la evidencia:

i) $C(E) = 1$: se está totalmente seguro de la evidencia E.



El factor de certeza que se tenía anteriormente sobre H, se utiliza ahora junto con la evidencia para obtener el nuevo valor $C'(H)$.

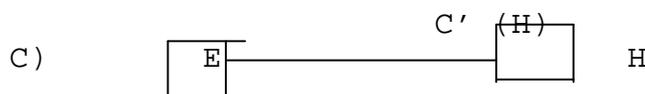
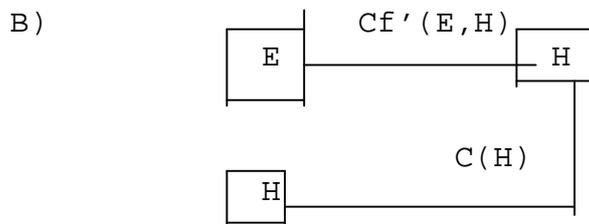
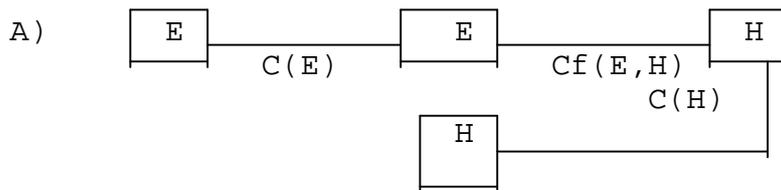
Así se tiene :

$$\begin{aligned} Cf(E,H) &> 0 \\ C(H) &> 0 \end{aligned}$$

entonces el nuevo valor sería:

$$C'(H) = C(H) + (1-C(H)) Cf(E,H)$$

ii) $0 \geq C(E) < 1$: E no es conocida con certeza, sino que se conoce como verdadero, pero con un cierto grado de incertidumbre.



Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

3.- APROXIMACIONES BIDIMENSIONALES A LA TEORIA DE LA INCERTIDUMBRE..

En Ingeniería del Conocimiento, los valores de incertidumbre se obtienen de preguntar al experto, por lo que hay que tener en cuenta una serie de consideraciones:

- a) El valor obtenido es aproximado, por lo cual tiene más sentido hablar intervalos que da un valor único:

Ejemplo.-

$$\begin{aligned} P(A) &= [0.65, 0.75] & P(A) &= [0.25, \\ & & & 0.35] \\ P(\neg A) &= [0.25, 0.35] & P(B) &= [0.4, 0.8] \\ & & & \text{¿ } P(A+B) \text{ ?} \end{aligned}$$

Cuando se sumen intervalos de probabilidad, el resultado puede pasar de 1, por lo que una solución sería truncar, pero en este caso ya no se está hablando de probabilidad. Por tanto, el tratar con intervalos no parece una solución adecuada.

- b) Otra crítica acerca del valor único es que permite una incertidumbre parcial, y obliga a tener ignorancia cuando se tiene información parcial. Esto es intrínseco al modelo de la probabilidad de LaPlace.

La solución a estos dos problemas podría ser una incertidumbre medida con dos valores, para lo cual existen modelos.

3.1.- Teoría de la evidencia de DEMPSTER-SHAFER.-

Esta teoría fue introducida por Dempster y refinada por Shafer.

Consiste en lo siguiente:

Partiendo de :

q : variable que toma valores sobre Θ
 Θ : MARCO DE DISCERNIMIENTO

Cualquier proposición acerca del atributo que mide esta variable es de la forma;

$$q \in A \subset \Theta \rightarrow A \subset \Theta \text{ sucesos}$$

Este modelo supone que el conocimiento se puede representar mediante:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\begin{aligned}
 m : \quad 2^\Theta &\longrightarrow [0,1] & m(\emptyset) &= 0 \\
 Pa(\Theta) & & \sum m(A) &= 1 \\
 & & \text{con } A \in Pa(\Theta) &
 \end{aligned}$$

En realidad es una auténtica probabilidad sobre el conjunto de los subconjuntos de Θ , ya que el espacio muestral no es Θ , sino partes de Θ .

Ejemplo:

$$\begin{aligned}
 q &= \text{color de bola} \\
 \Theta &= \{B, R, N\}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset, \{B\}, \{R\}, \{N\}, \{BR\}, \{BN\}, \{RN\}, \{BRN\}$$

Suponiendo que hay 100 bolas (10R, 20N, 10B, 50 {BR}), entonces se tendría:

$$\begin{aligned}
 m(\{B\}) &= 0.10 \\
 m(\{N\}) &= 0.20 \\
 m(\{R\}) &= 0.10 \\
 m(\{B,R\}) &= 0.6
 \end{aligned}$$

Por lo que se tiene un experimento sobre el experimento cuyo espacio son las particiones o subconjuntos.

Los valores que pueden tomar las evidencias son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{SEGURIDAD} &\longrightarrow \text{Existe } A & m(A) &= 1 \\
 & & m(B) &= 0, \quad B \subsetneq A \\
 - \quad \text{PRECISION} &\longrightarrow A(r), \quad r \in \Theta \\
 - \quad \text{IGNORANCIA} &\longrightarrow m(\Theta) = 1 \\
 & & m(A) &= 0, \quad A \subsetneq \Theta
 \end{aligned}$$

Para encontrar la probabilidad determinada de que se dé un suceso, esta teoría establece lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 Bel : Pa(\Theta) &\longrightarrow [0,1] \\
 Bel(A) &= \sum m(B)
 \end{aligned}$$

Donde $m(B)$ es la medida sobre el grado de conocimiento de que va a ocurrir B (conocimiento sobre los sucesos).

$$\begin{aligned}
 Bel(\emptyset) &= 0 \\
 Bel(\Theta) &= 1 \quad \Rightarrow \text{no es probabilidad}
 \end{aligned}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\text{Bel}(a) + \text{Bel}(\neg a) \geq 1$$

$\text{Bel}(A)$ es lo mínimo que se puede creer que va a ocurrir A , es decir, es una probabilidad inferior que da conocimiento sobre la variable.

Lo máximo que se puede creer está formado por un suceso llamado PLAUSIBILIDAD, que viene dado por:

$$\begin{aligned} \text{Pl} : \text{Pa}(\Theta) &\rightarrow [0,1] \\ \text{Pl}(A) &= 1 - \text{Bel}(\neg A) = \sum m(B) \end{aligned}$$

Se puede comprobar que:

$$\begin{aligned} \text{Pl}(\emptyset) &= 0 \\ \text{Pl}(\Theta) &= 1 \\ \text{Pl}(A) + \text{Pl}(B) &\geq 1 \end{aligned}$$

La relación entre la plausividad y la creencia es la siguiente:

$$\text{Bel}(A) \geq \text{Pl}(A), \text{ para toda } A.$$

Bel y Pl no son probabilidades, sino el límite inferior y superior de un intervalo:

$$P(A) \in [\text{Bel}(A), \text{Pl}(A)]$$

Se llaman **elementos focales** de la estimación de probabilidad "m" a aquellos conjuntos sobre los que hay asignado alguna base de información:

$$A / m(A) <> 0$$

La **Certeza** puede representarse por aquella evidencia que tiene un focal distinto del total:

$$A <> \Theta$$

La **Ignorancia** es el focal único Θ .

Desde la certeza hasta la ignorancia hay todo un rango de valores, es decir, desde no saber algo a saber algo preciso hay muchos valores.

La **Probabilidad**, bajo el punto de vista de los focales, considerando todos los focales como puntos es:

$$m(A) <> \Theta \rightarrow A = \{x\}, x \in \Theta$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\text{(antes) } m : P(\Theta) \rightarrow [0,1] \quad \sum m(A) = 1$$

$$m : \Theta \rightarrow [0,1] \quad \sum m(x) = 1$$

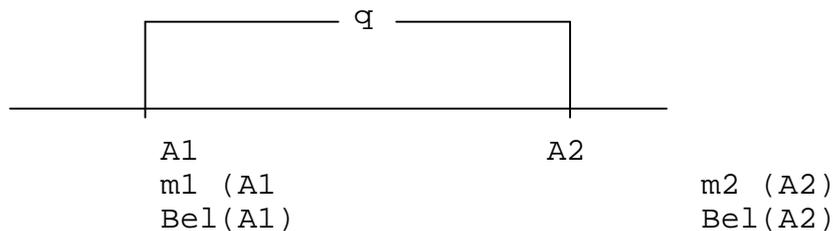
$$\text{Bel}(A) = \sum m(P) = \sum m(x) = \text{Prob}(A)$$

$$\text{Pl}(A) = \sum m(B) = \text{Prob}(A)$$

$$\text{Pl}(A) = 1 - \text{Bel}(\neg A) = 1 - 1 - \text{Prob}(A) = \text{Prob}(A)$$

La información es **inconsistente o disonante** cuando los elementos focales son disjuntos dos a dos. Esto es debido a lo siguiente:

Partiendo de dos elementos focales



"q" podría caer dentro tanto del elemento focal "A1" como de "A2". Al no tener precisión sobre esto, los elementos focales son INCONSISTENTES.

La fuente de información es buena si se puede "afinar" bien el valor de la variable, en cuyo caso no sería disonante, ya que una fuente disonante da distintos focales para una misma variable.

la probabilidad es muy precisa, pero fuertemente disonante. Esto es debido a que es preciso porque da valores de los puntos, y es disonante porque lo disonante implica incertidumbre, y la probabilidad da los posibles valores que puede tener una variable, pero no lo que va a salir concretamente. Por ello, la probabilidad no es buena para fenómenos que no sean precisos y disonantes.

La información se va a afinando, depurando, conforme se va estrechando el conjunto de información.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$m_2 = \{X_2\} \cup \{X_3\}$$

Las fuentes de información m_1 y m_2 darían la siguiente información:

$$\{X_1\} \cap \{X_2, X_3\} = \emptyset \quad (r_1)$$

$$\{X_1\} \cap \{X_2\} = \emptyset \quad (r_2)$$

$$\{X_2\} \cap \{X_2\} = \{X_2\} \quad (r_3)$$

$$\{2\} \cap \{x_2, X_3\} = \{X_2\} \quad (r_4)$$

Conjuntamente, m_1 y m_2 sólo dan información sobre el vacío (\emptyset) y sobre $\{X_2\}$.

Además, al tratarse de conjuntos finitos, se da el hecho:

$$1 = \sum_{A_i \cap B_j} m_1(A_i) \times m_2(B_j)$$

que si se desarrolla da lugar a:

$$1 = \sum_{A_i \cap B_j} m_1(A_i) \times m_2(B_j) = \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} + \sum_{A_i \cap B_j = \{X_2\}}$$

Para trabajar con una notación llamaremos k al segundo sumando de la expresión anterior, y $1-k$ al primero. k y $1-k$ indican la contradicción que existe entre m_1 y m_2 , sabiendo que m_1 y m_2 son más contradictorios cuanto mayor sea el número de focales distintos existentes.

$k \equiv$ Medida de coherencia de la información.

$1-k \equiv$ Medida de la incoherencia de la información.

Con esto puedo llegar al siguiente hecho:

$$m = m_1 \circ m_2 \Rightarrow m(c) = \sum_{c=A_i \cap B_j} m_1(A_i) \times m_2(B_j)$$

"Para cada c que sea intersección, vamos a sumar aquellas intersecciones que dan a c como resultado".

Es necesario normalizar con la información que se desprecia ($1-k$):

$$m(c) = \frac{\sum_{c=A_i \cap B_j} m_1(A_i) \times m_2(B_j)}{1-k} = 1$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$c \in \Theta \quad k$$

Donde $m(c)$ es el valor de m en c , es decir, la combinación de las evidencias m_1 y m_2 en cada punto donde las intersecciones no sean \emptyset .

Pero surge un problema, que consiste en que si las fuentes son iguales, la combinación de ellas no es igual, y el grado de inconsistencia es distinto de 0.

Ejemplo: Supongamos que tenemos:

$$\begin{array}{lll} \text{beber agua} & \Rightarrow & m_1(a) = 0.3 \\ \text{beber cerveza} & \Rightarrow & m_1(c) = 0.3 \\ \text{beber vino} & \Rightarrow & m_1(v) = 0.4 \end{array}$$

y además, m_2 es igual a m_1 .

- El conjunto de focales de m_1 es:

$$\{a\} \quad \{c\} \quad \{v\}$$

- El conjunto de focales de m_2 es:

$$\{a\} \quad \{c\} \quad \{v\}$$

Intersección \emptyset

Si calculamos el grado de incoherencia de la información $(1-k)$:

$$\begin{aligned} 1-k &= 0.3 \times 0.3 + 0.3 \times 0.4 + 0.3 \times 0.3 + 0.3 \times \\ &0.4 + 0.4 \times 0.3 + 0.4 \times 0.4 = 0 \\ &= \mathbf{0.66} \end{aligned}$$

La inconsistencia obtenida es muy grande (0.66), y esto es debido a que las fuentes eran iguales.

Los resultados que se obtienen al combinar son:

$$m = m_1 \times m_2 \begin{cases} a = 0.26 \\ c = 0.26 \\ v = 0.48 \end{cases}$$

Se puede ver que la inconsistencia ha primado a los valores grandes y ha perjudicado a los pequeños, de manera que se fomenta aquello en lo que coincidan en mucho las dos fuentes, y se rechaza aquello en que coincidan las dos fuentes en menor medida.

NOTA: Otra forma de considerar las evidencias es tomarlas como un poliedro en un espacio de probabilidades

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

determinado. Así, dos evidencias serán dos poliedros, y la combinación de ambas será el mínimo poliedro que contenga a los dos poliedros.

3.2.- Inferno.-

Otro enfoque bidimensional ha sido desarrollado por Quinlan y Ross, y es un auténtico motor de inferencia para desarrollar evidencias inciertas.

Este proyecto INFERNO se basa en dos puntos:

A) La medición bidimensional de la incertidumbre. Para cada proposición A se establecen dos valores:

a) Cota inferior del valor de la probabilidad de A.

$$\text{Bel}(A) \equiv t(A) \geq P(A)$$

b) Cota inferior del valor de la probabilidad de $\neg A$

$$f(A) \geq P(\neg A)$$

Por tanto, en base a esto podemos afirmar:

$$\text{Bel}(A) \equiv t(A) \geq P(A) \geq 1 - f(A)$$

B) La inferencia lógica que hace el motor en la vida real, más que un problema lógico-formal, es un problema de relación de proposiciones.

Así en lugar de decir $A \Rightarrow \neg B$, se dirá "A niega a B", que es algo mucho más natural. Y si decimos "A inhibe a B", según vayamos observando A, se va quitando valor a B.

A través de estas cotas de probabilidad del valor observado, se van estableciendo unas restricciones, obteniéndose así valores de probabilidad acotada.

4.- METODOS DE EVALUACION DE LA INCERTIDUMBRE MEDIANTE CONJUNTOS.

Dentro de este bloque vamos a estudiar tres teorías:

- A) Teoría de la incidencia de Bundy.
- B) Teoría de los subconjuntos difusos.
- C) Teoría de la medida de la posibilidad.
- D) Teoría de los "rough sets".

4.1.- teoría de la incidencia de Bundy.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Se trata de una tecnología que facilita (basándose en la Teoría de conjuntos y en la Teoría de la Probabilidad) el cálculo de la probabilidad.

Se basa en asignar un conjunto a cada proposición, para sistematizar el cálculo de la probabilidad de las proposiciones.

Sea $\Theta = \{i_1, \dots, i_n\} \equiv$ Universo de items.

$$A \subset \Theta \Rightarrow A = \{x / x \in \Theta\}$$

Suponemos que conocemos el valor:

$$P_j = \text{prob}(i_j), \text{ siendo } \text{prob}(A) = \sum_{i_j \in A} \text{prob}(i_j)$$

Podemos encontrar fórmulas que simplifiquen el cálculo de las probabilidades:

$$\begin{aligned} \text{prob}(\neg A) &= 1 - \text{prob}(A) \\ \text{prob}(A \cup B) &= \text{prob}(A) + \text{prob}(B) - \text{prob}(A \cap B) \end{aligned}$$

Sin embargo, empiezan a surgir problemas, ya que el cálculo de probabilidades como la de la intersección no es fácil. Para ello, lo que hace Bundy es establecer una tecnología sistemática para conocer la probabilidad de cualquier suceso, sumando sobre sus puntos. La idea es la siguiente:

Sea A una proposición sobre Θ .

La incidencia de una proposición A se define, según Bundy, como el conjunto de items sobre los que la proposición es verdadera:

$$i(A) = \{ i_j / A(i_j) = \text{verdadero} \}$$

Esta incidencia se puede asociar a un vector

$$e(A) = \{ e_1, \dots, e_n \}, \text{ donde } e_j = \begin{cases} 1 & \text{si } i_j \in i(A) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

De esta forma:

$$\text{prob}(A) = \text{prob}(i(A)) = \langle (P_j) (i(A)) \rangle$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

y ya podemos deducir lo siguiente:

$$a) \quad i(A \cup B) = i(A) \cup i(B) = e(A) + e(B)$$

(suma booleana)

Así estamos viendo que ya no es necesario calcular la intersección y restarla al hacer la unión, ya que los elementos duplicados (intersección) desaparecen, y además, podemos ver que la intersección también se puede calcular de forma simplificada.

$$b) \quad i(A \cap B) = i(A) \cap i(B) = e(A) \times e(B)$$

(producto término a término)

$$a) \quad \bar{i}(A) = \neg i(A) = i(\neg 1 - e(A)), \text{ siendo } 1 = \{1, \dots, 1\}$$
$$= i(\Theta)$$

Lo que realmente pretende calcular esta teoría no es la probabilidad, sino la incidencia ($i(A)$) asociada a cada proposición, que se puede interpretar como la incertidumbre.

Ejemplo: Supongamos que lanzamos a la vez un dado y una moneda.

$$\Theta = \{ (\text{dado}, \text{moneda}) \}$$

$$\text{prob}(x) = 1/12, \text{ para todo } x$$

* Supongamos que el suceso obtenido es el siguiente:
A = impar y cara

$$i(A) = \{(1, \text{cara}), (3, \text{cara}), (5, \text{cara})\}$$
$$e(A) = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$
$$P(A) = 3/12 = 1/4$$

* Supongamos ahora otro suceso:

$$B = \text{par y cruz}$$

Y que quiero calcular la probabilidad de $A \cup B$.

$$i(A) = \{(2, \text{cruz}), (4, \text{cruz}), (6, \text{cruz})\}$$
$$e(A) = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1)$$

Con estos datos ya podemos calcular $P(A \cup B)$:

$$e(A \cup B) = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1)$$
$$P(A \cup B) = 6/12 = 1/2$$

4.2.- Teoría de los subconjuntos difusos.-

Fue introducida por L.A.Zadeh en 1965. A partir de ella se ha desarrollado la llamada LOGICA DIFUSA (que no se debe con la Lógica de Lukasiewicz).

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

La lógica difusa permite tratar formalmente proposiciones vagas, mientras que la de Lukasiewicz únicamente permite asignar a una proposición, un valor perteneciente al intervalo $[0,1]$.

La lógica difusa supone un paso adelante, ya que no sólo se puede dar a una proposición un valor numérico perteneciente a $[0,1]$ sino que incluso se puede valorar con cuantificadores lingüísticos, dando una aproximación mucho más exacta del grado de verdad.

Esta teoría está diseñada para trabajar tanto con universos finitos como infinitos, y discretos como continuos. Nosotros vamos a considerar:

- el caso puramente continuo (recta real)
- el caso puramente discreto (puntos)

Sea $U = \{u\}$.

Definimos $S \equiv$ **Subconjunto difuso** $\equiv \{ (u, \mu_n) , u \in U, \mu_n \in \{0,1\} \} \cap [0,1]$
 \approx

donde $\mu_n \equiv$ grado de pertenencia de u a s
 \approx

Si tenemos un conjunto difuso, ya no diremos "x pertenece" o "x no pertenece" sino que diremos "x pertenece al conjunto con grado tal", y donde grado 0 significará la no pertenencia.

Si S es un subconjunto normal, se representará siguiendo la misma idea) de la forma:

$S \equiv$ **subconjunto normal** $\equiv \{ (u, \mu_n), u \in U, \mu_n \in \{0,1\} \} \cap [0,1]$

de forma que un subconjunto normal será un subconjunto de los subconjuntos difusos (podemos eliminar la tilde \approx). A los subconjuntos normales -aquellos cuya relación de pertenencia es 0 ó 1 - se les denomina CRISP.

Otra forma de trabajar con los subconjuntos difusos, es asociar a cada uno de ellos una función μ_s , que corresponde realmente con μ_n :

$S: \mu_n : u \rightarrow [0,1]$
 \approx

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\mu_S(u) = \mu_n$$

Se puede aplicar a μ la operatoria clásica sobre conjuntos:

$$\begin{array}{l} * \quad \mu(A \cup B) = \sup \{ \mu(A), \mu(B) \} \\ \text{OR } \mu(B) \\ * \quad \mu(A \cap B) = \inf \{ \mu(A), \mu(B) \} \\ \text{AND } \mu(B) \\ * \quad \mu(\neg A) = 1 - \mu(A) \end{array}$$

Se puede comprobar que $P(A)$ -conjunto de las partes de A - sale un retículo distributivo, pero no complementado ya que, por lo general, no se cumple:

$$\begin{array}{l} A \cup \neg A = U \text{ (universo)} \\ A \cap \neg A = \phi \end{array}$$

Sea

y también podemos ver:

con lo que $A \cup \neg A$ no coincide con U , y $A \cap \neg A$ tampoco coincide con ϕ (que sería la curva plana sobre el eje x).

4.2.1.- Relación binaria difusa.-

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Una RELACION DIFUSA es un subconjunto difuso de un producto cartesiano. Al ser binaria, será un matriz que contenga números comprendidos entre 0 y 1.

i.- Será reflexiva cuando la diagonal principal sea distinta de 0, es decir, que cada elemento esté relacionado consigo mismo en algún grado.

ii.- Será simétrica cuando el grado de ligadura de x con y, sea igual al de y con x.

$$R(x,y) = R(y,x)$$

iii.- En la relación transitiva se sustituye el producto por el máximo, y la suma por el mínimo.

Si se verifica

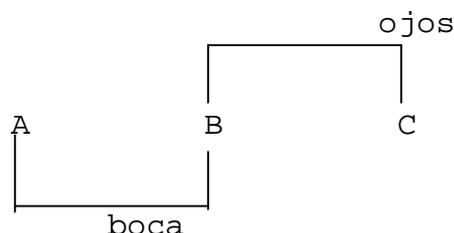
$$R(x,z) \geq \max \{R(x,y) \text{ AND } R(y,z)\}$$

la relación será max-min-transitiva.

Se llamarán RELACIONES DE SIMILITUD a aquellas que sean reflexivas, simétricas y max-min-transitivas. Este tipo de relaciones extiende la idea de equivalencia, de modo que se pueden clasificar sucesos en el sentido de que dos de ellos sean iguales, salvo matices (cosa que no permite la matemática clásica).

También se pueden definir las RELACIONES DE SEMEJANZA, di sólo se toman las que sean reflexivas y simétricas, y que serán menos potentes que las anteriores.

Ejemplo: Supongamos que tenemos:



Si A se parece a B en la boca y B se parece a C en los ojos, no tenemos forma de relacionar directamente A y C, pero tiene punto en común que es B.

esto se utiliza para la construcción de CLASIFICADORES.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Se define α -CORTE de un conjunto, a los subconjuntos para los que el grado de pertenencia de sus puntos, sea mayor o igual que α .

$$S_\alpha = \{ u / \mu_S(u) \geq \alpha \}$$

Gráficamente:

Se puede demostrar que todo α -corte de una relación de similitud, es una relación de equivalencia clásica.

Ejemplo: Sean X e Y dos universos normales.

$$f: X \text{-----} \rightarrow Y$$

Si A es un conjunto normal, ¿ qué es f(A) ?

En principio si A es un subconjunto de X, f(A) será el conjunto de imágenes de los elementos de A.

Esta idea puede extenderse para subconjuntos difusos. Así, si A es difuso, f(A) también será difuso, teniendo en cuenta que si dos puntos tienen la misma imagen, y cada uno de ellos tiene distinto grado de pertenencia a A, el grado de pertenencia de la imagen será el máximo de los grados de pertenencia de los dos puntos.

4.2.2.- Números difusos.-

Sea la recta real (R)

Cada punto de la recta R está asociado a una clase de equivalencia, de modo que cada punto se puede representar por la clase, o por dos intervalos (formalmente está definido por límites:

$$(-\infty, r] \text{ y } [r, +\infty)$$

Hay dos maneras de describir los números difusos:

- la campana de Gauss (la más utilizada)
- la distribución.

La suma de números difusos se puede obtener del siguiente modo:

Sean N y M dos números difusos.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$(M + N) (r) = \sup_{(x,y) / z = x + y} \{ M(x) \text{ AND } N(y) \}$$

lo cual permite obtener varias antiimágenes.

Haciendo la misma extensión, se pueden obtener expresiones similares para producto, resta y división de los números difusos, pero la operatoria es muy complicada.

Sin embargo, todo este desarrollo presenta un INCONVENIENTE, y es que si sumamos dos números imprecisos, con la misma imprecisión, el resultado tendrá una imprecisión mucho mayor que la de los dos sumandos.

Para solucionar este problema hay varios trucos.. Entre ellos, está definir una VARIABLE como un ente abstracto, que toma valores de un conjunto. Son d dos tipos:

- a) **Variables numéricas:** Cada valor de la variable es un valor bien definido.
- b) **Variables cuantitativas,** como el color, para el cual hay una lista establecida. El contenido semántico de cada variable también está definido.

A mitad de camino entre los dos tipos de variables definidos anteriormente, pueden definirse las **variables lingüísticas** (normalmente son de tipo numérico). Toman valores sobre un subconjunto de etiquetas, pero cada etiqueta toma valores sobre un subconjunto difuso de un referencial o universo bien conocido, normalmente numérico.

Ejemplo: La estatura puede darse como variable numérica, o como variable cuantitativa.

- NUMERICA: 1,74
- CUANTITATIVA: Tomando una etiqueta del conjunto {alto, normal, bajo}

Con las variables lingüísticas conseguimos darle un contenido semántico más concreto a las variables cuantitativas.

Normalmente las variables lingüísticas, que suelen ser simplificaciones de variables numéricas, se construyen con dos valores extremos, un valor medio y modificadores (muy, poco, medianamente....).

Se denomina GRANULARIDAD del problema, al número de etiquetas que el hombre es capaz de percibir. _Se ha comprobado, a través de gran cantidad de experimentos, que el

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

número de etiquetas que se pueden llegar a percibir, son 13. Sin embargo, lo normal es tener 5: los valores extremos, el valor medio y un aumentativo de cada uno de los extremos.

4.2.3.- Variables lingüísticas.-

Vamos a estudiar dos variables lingüísticas típicas:

- probabilidad
- verdad

A) PROBABILIDAD

Se mide por los expertos en cinco etiquetas:

- * Imposible \equiv 0
- * Inverosímil \equiv 0.25
- * puede ser \equiv 0.5
- * verosímil \equiv 0.75
- * seguro \equiv a partir del 0.9

NOTA: Se utiliza también la etiqueta "muy seguro" \equiv 0.99

B) VERDAD.-

La variable VERDAD (w) toma sus valores en $[0,1]$

Grado de verdad $\Rightarrow w \in [0,1]$

La verdad lingüística será una variable que tome sus valores etiqueta, de tal forma que cada etiqueta sea un subconjunto difuso en $[0,1]$.

$W \in \{ \text{etiqueta} \} / \text{etiqueta} = \text{conjunto difuso en } [0,1]$

a partir de valores extremos, deduce que la variable verdad se construye a partir de dos etiquetas:

J. Baldwin, pensando en la idea original de que las variables lingüísticas se producen siempre a partir de valores extremos, deduce que la variable verdad se construye a a partir de dos etiquetas:

- Verdadero
- Falso

Cumplimiento

1

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

grado w

* La etiqueta verdadero tiene como función de cumplimiento, la diagonal del esquema anterior, de forma que:

-Una proposición que se cumple con grado 0.5, tiene la propiedad de ser verdadera con grado 0.5.

-Una proposición que se cumple con grado 0, cumple la propiedad de ser verdadera con grado 0 (no es verdadera).

-Una proposición que se cumple con grado 1, es verdadera con grado 1 (es absolutamente verdadera).

De este modo, se considerará que una proposición es verdadera cuando se cumple en un alto grado, a partir de 0.9

*La etiqueta falso sería el complemento de verdadero, y gráficamente se podría representar por:

cumplimiento
1

grado w

*La etiqueta intermedia se puede representar por:

1

1

Las etiquetas con grado 0.5, serían aquellas que no son verdaderas ni falsas.

A partir de los valores extremos, se pueden introducir dos etiquetas más, con los modificadores:

*La etiqueta muy verdadero se cumple más cuando aumenta el grado verdadero. Es, por tanto, más estricta que la etiqueta verdadero.

1

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

1

*La etiqueta muy falso consiste en que conforme va aumentando el grado, se le va dando menor valor de verdad.

1

1

En base a estas cinco etiquetas:

- Muy verdadero
- verdadero
- Intermedio
- Falso
- Muy falso

Baldwin construyó una lógica pentavalorada, con la condición de que cada etiqueta tiene una representación semántica en forma de subconjunto difuso.

En base a esta idea, se acuñó el término de LOGICA DIFUSA, de forma que se entiende como aquella lógica donde los grados de verdad de las proposiciones se forman mediante etiquetas, donde las etiquetas tiene una representación semántica en forma de conjuntos difusos.

Ejemplo: Si tenemos una proposición que cumple ser VERDADERA con grado 0.7, y MUY VERDADERA, en grado 0.6, se considerará que la proposición es VERDADERA.

Esto nos dice que para asignar valores o etiquetas a una proposición, se le asigna el valor o etiqueta que más cumplimiento tenga (por la Hipótesis del Mundo Cerrado).

La Lógica Difusa, así vista, sería una lógica que se construiría a partir de la Lógica de Luksiewicz, pasando a una

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Lógica Lingüística. Esto es, en lugar de asignar un número a la verdad, se le asocia una etiqueta.

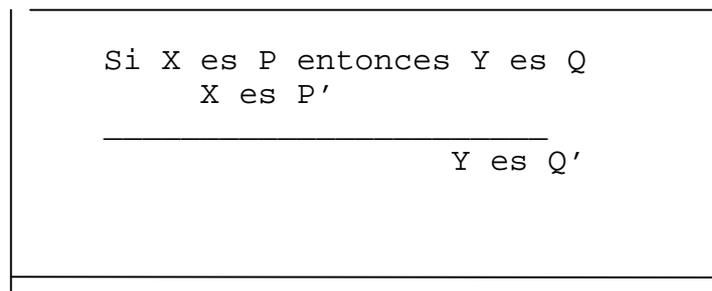
Esta idea se ha deformado en el sentido de que se califica de Lógica Difusa a algo más general : **RAZONAMIENTO APROXIMADO** (R.A.), que es la capacidad de obtener consecuencias vagas a partir de razonamientos vagos.

Desde el punto de vista de la Ingeniería del Conocimiento. el Razonamiento Aproximado ha tenido una importancia clave, por lo que vamos a seguir apoyándonos en este planteamiento.

Así, Baldwin y Mamdami han continuado con este desarrollo, y definen lo que es el Razonamiento Aproximado, partiendo de la regla:

Si X es P entonces Y es Q.

Ejemplo: " Si el tomate es rojo, entonces está maduro".



MODUS PONENS GENERALIZADO
(vago con etiquetas)

La conclusión del Razonamiento Aproximado es que, partiendo de la regla "tener un hecho observado", observar otro hecho de la misma variable de una forma vaga, y poder concluir -también vagamente - que se cumple la primera regla.

El problema sería calcular la conclusión (Q') partiendo de que Q' está ligado con Q en la misma medida en que P' está ligada con P.

Para ello tenemos varias fórmulas posibles:

I)
$$\boxed{\text{Si } P' \text{ C } P \Rightarrow Q'} = Q$$

Ejemplo: "Si un tomate rojo esta maduro, entonces un tomate muy rojo ha de estar también maduro".

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\text{MUY ROJO} = > \text{ROJO} = > \text{MADURO}$$

Si la regla anterior estuviera en el sentido contrario:

$$\text{MUY ROJO} = > \text{MUY MADURO}$$

Entonces, al observar un tomate muy rojo, la conclusión sería la siguiente: Como un tomate rojo cumple la propiedad de ser muy rojo en grado 0.5 entonces, si tenemos un tomate rojo, tendremos una probabilidad de que esté muy maduro de 0.5 con lo que se puede concluir:

"Puede ser que esté muy maduro"

$$\text{II) } \boxed{\text{Si } P \text{ C } P' = > Q' \text{ "puede ser" } Q}$$

Esta es otra fórmula que se puede utilizar para lo mismo.

Para realizar el Modus Ponens Generalizado (esquema propio del Razonamiento aproximado), se ha desarrollado un método operativo llamado REGLA COMPOSICIONAL DE INFERENCIAS, que dice:

"Si X e Y son variables relativas a un determinado dominio, el hecho de establecer la regla <<X es P entonces Y es Q>> establece una relación del producto cartesiano de X x Y "

La relación se mide:

$$R(x,y) = f (\mu_p, \mu_q)$$

Si se tiene P' (x) se puede obtener Q' (y).

La forma más simple de obtener R(x,y) es:

$$\begin{aligned} R(x,y) &= \min \{ P(x), Q(y) \} \\ Q'(y) &= \max_x \{ P'(x) \text{ AND } R(x,y) \} \\ Q'(y) &= \max_x [P'(x) \text{ AND } \{ P(x) \text{ AND } \mu_p(y) \}] \\ &= Q(y) \text{ AND } \max_x [P'(x) \text{ AND } P(x)] = \end{aligned}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

$$\begin{aligned} &= Q(y) \quad \text{AND} \quad \max_x (P'(x) \cdot P(x)) = \\ &= Q(y) \quad \text{AND} \quad \alpha \end{aligned}$$

El problema está en que Q no tiene etiqueta asociada,, y se cumple que es verdadero pero con menos grado (todo esto es fácilmente implementable).

Se puede entonces concluir que el Modus Ponens generalizado es utilizado como regla de inferencia de los sistemas expertos: dada una regla imprecisa , se observa un hecho y se infiere, asignándosele un grado de verdad a las reglas.

4.2.4.- Frames difusos.-

Una versión alternativa a la Teoría de Lógicas Difusas la definición de Frames Difusos.

Estos Frames se constituirán mediante la introducción en cada uno de los slots de una variable lingüística.

Ejemplo: considerando la variable estatura, es posible medirla mediante.

- variable cuantitativa, con números reales (A= 175 m.)
- variable cualitativa (alto,-mediano-bajo), por ejemplo, A es mediano.

El problema que presenta esta representación es cómo calificar formalmente este valor cualitativo, a que hay que aplicarle un razonamiento difuso, asignando un valor cuantitativo a las etiquetas.

En este campo se habla de posibilidad, y no de probabilidad, cobrando gran importancia ya que hay Sistemas Expertos que utilizan frames difusos en lugar de reglas difusas.

4.2.5.- Sistemas de Control.-

Una rama muy importante dentro de la Inteligencia Artificial son los Sistemas de Control, que son parte integrante de los Sistemas Expertos.

Un sistema es una caja negra, en la que entran y salen variables. Se intentan que las salidas sean adecuadas a las entradas y que además deben cumplir una serie de condiciones.

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Si los sistemas fuesen puramente determinísticos -se llevan a cabo mediante un procedimiento funcional $f(x)$ -, tendíamos lo que se denomina un control abierto

Por ejemplo, en el caso de Disparar, si se tiene la pistola en una posición, todos los tiros van a la misma zona. Sin embargo, esto es irreal.

La mayoría de los sistemas tiene componentes aleatorios internos y externos que no se conocen, con lo que no es posible controlar el sistema. para controlar el sistema hay que hacerlo de una forma retroalimentada, es decir se observan las salidas, se modifican las entradas y se vuelven a observar las salidas.

Ejemplo: Misil que sigue un foco de calor.

A la entrada se observa dónde está el foco de calor, y si éste se mueve, se modifica la trayectoria. Al obtener una salida, se modifica la posición del foco y se vuelve a observar otra vez.

De este modo, el control es función de la salida observada:

$$\begin{aligned} y &= f(x) \\ x &= (t + \Delta t) = (Y(t)) \end{aligned}$$

La Teoría Clásica pasaba de una expresión a otra por métodos matemáticos como las ecuaciones diferenciales,.....

Este razonamiento da lugar a complicados sistemas de control, ya que hay que considerar muchas variables. Por lo tanto su dinero no interesa económicamente bien por la complicación, porque no existen medios físicos baratos o porque no resulte rentable realizar el control.

Abe Mandani (1975) describió el comportamiento y las reglas de control de una planta de cemento de forma lingüística y con trece reglas de la forma:

Si Y es A entonces X es B

donde Y es la salida, X la entrada y A y B son etiquetas sobre las variables X e Y.

Las variables X e Y son variables numéricas que se pueden representar en el intervalo $[-10,10]$.

Para cada variable introdujo cinco etiquetas:

- Positivo grande
- Positivo pequeño

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- nulo
- negativo pequeño
- negativo grande

La Semántica sería la siguiente:
Supóngase que se tiene una regla:

"Y es A entonces X es B"

Los sistemas de control son capaces de detectar el valor real de las variables. Aunque el experto proporciona reglas lingüísticas, el sistema toma valores numéricos.

Mandani formuló esta teoría matemáticamente, siguiendo los razonamientos del experto, comprobándose su correcto funcionamiento. De esta forma se demostró que el funcionamiento de los sistemas lineales y no lineales era totalmente análogo.

4.3.- Teoría de la Medida de la Posibilidad.-

Fue introducida por L.A. Zadeh en los años 70.

La Teoría de los Conjuntos Difusos trataba de medir la vaguedad, siendo una medida de desconocimiento a posteriori. Sin embargo, la aleatoriedad es desconocimiento a priori.

Zadeh intenta medir la vaguedad de las proposiciones o conjuntos:

$$U: \pi : Pa(u) \rightarrow [0,1]$$

$$\pi(U) = 1$$

$$\pi(0) = 0$$

$\pi(A \cup B) = \pi(A) \vee \pi(B)$ para cualquier conjunto

$\pi(A)$ es una medida del grado en el que el resultado pertenece a A (está dentro de A). Por ejemplo, si un hombre que desayuna huevos todos los días, cabiéndole en el estómago 20 huevos en volumen, ¿Cuál es la probabilidad de que el hombre que habitualmente se toma uno o dos huevos, se tome 15 huevos?. Esta probabilidad es casi nula, pero la posibilidad de que tome 15 huevos es verdadera, ya que físicamente es posible.

De este modo se puede diferenciar entre:

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

- i) POSIBILIDAD: Esta medida del grado en que un resultado pertenezca a A, es decir, de que pueda suceder, .

- ii) PROBABILIDAD: Creencia de que realmente ocurra un resultado.

Por tanto hay que diferenciar entre el experimento y la evaluación de los posibles resultados.

Normalmente para cada experimento:

$$\text{Prob}(A) \geq \text{Poss}(A)$$

Lo cual constituye el PRINCIPIO DE CONSISTENCIA DE ZADEH.

Supóngase una propiedad vaga, definida por su μ_A (conjunto difuso de función de pertenencia) sobre un conjunto U. Se define la siguiente función:

$$\pi(A) = \sup_{x \in A} \mu(x), \text{ para todo } A \in \text{Pa}(U)$$

Esta es una medida de posibilidad, y su interpretación es:

μ es una propiedad vaga (conjunto difuso)

$\pi(A)$ es la medida que considerando A globalmente, se cumple la medida μ . Los elementos de A son compatibles con la propiedad μ .

Ejemplo: Si se tiene una clase donde hay un alumno con medida de ser "alto" igual a 0.7, la posibilidad de encontrar en dicha clase un alumno alto en grado 0.7 es alta, aunque sólo haya uno.

Supóngase que A es un subconjunto de P, y que se tiene μ_A . Se puede definir μ_P como la medida de probabilidad que se está midiendo.

$$\pi(A) = \sup (\mu_P(x) \text{ AND } \mu_A(x))$$

Cuando los conjuntos focales están anidados,

$$A_1 \subset A_2 \subset \dots \subset A_n$$

La medida de las creencias sería:

$$\begin{aligned} \text{Bel}(A) &= \text{Poss}(A) \\ \text{Pl}(A) &= 1 - \text{Poss}(A) \end{aligned}$$

Editados por M. Delgado y W. Fajardo.

Nota: El contenido de estos apuntes es solamente orientativo, puede contener errores y/o erratas y debe ser contrastado con la bibliografía de la asignatura. No siendo en ningún momento suficientes como único material de referencia para el estudio de la asignatura.

Donde en este caso, a $P_1(A)$ se le suele llamar NECESIDAD, $Nes(A)$.

Una aplicación de esto fue desarrollada por M. Sugeno (1974), quién estudió un contexto de medidas no aditivas para proporcionar a los fabricantes de coches una medida global de la deseabilidad de un vehículo. Para ello tomaba la cara de una persona, dividiéndola en varias zonas z_1, z_2, \dots, z_6 . Estableció un test donde la belleza de la zona i se evaluaba para ver su importancia, estableciendo así un valor para cada una de las zonas (no es aditivo, de forma que puede haber varias zonas importantes y la suma total no tiene que ser 1). La medida $V(z_i)$ es la posibilidad del grado de importancia que tiene la zona i para la belleza, $V_i = V(z_i)$. Después tomaba a una persona preguntándose cuál era el valor para cada una de las zonas, estableciéndose finalmente:

$$B = \max \{ V_i \times C_i \}$$

Este mismo desarrollo fue aplicado a los coches, con 26 variables, siendo más antiguo que el control.

Este es el uso de medidas no aditivas para evaluar conocimiento incierto.

4.4.- Teoría de los "Rough Sets".-

Esta teoría es utilizada en el caso de que no se pueda dar la frontera del conjunto, en cuyo caso se le dará todos los conjuntos que lo circunden, es decir, que lo contengan.

La intersección de todos esos conjuntos nos daría el conjunto inicial (APROXIMACION INTERIOR).

La unión de dichos conjuntos sería una aproximación vasta (APROXIMACION EXTERIOR).