

UNIVERSIDAD DON BOSCO



Sistemas expertos

**Trabajo de Investigación sobre
"Inteligencia Artificial"**

Presentado por:

David Octavio Reyes Huevo
Fernando Arturo Turcios Silva

Catedrático:

Ing. Cruz Antonio Galdamez Rivera

Ciudadela Don Bosco, Miércoles 30 de Junio

INDICE

	PAG
INTRODUCCIÓN	3
DEFINICIONES	4
AGENTES INTELIGENTES	6
LIMITES	8
TECNOLOGÍA	10
APLICACIONES	18
APRENDIZAJE	21
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFIA	26

INTRODUCCION

El presente trabajo muestra un resumen muy importante acerca de la inteligencia artificial, sus conceptos, características, sus aplicaciones, tecnología que esta rama aporta a la ciencia de la computación y la utilidad y provecho que nos puede hacer en nuestra vida cotidiana.

El documento presenta diferentes conceptos que se le pueden atribuir a esta rama de la computación, ya que en la actualidad se pueden generar debates y controversias acerca de lo que en realidad significa inteligencia artificial y su verdadero significado, y también detallar detenidamente que se puede hacer con la inteligencia artificial, lo complicado y exitoso que resulta realizar proyectos de este tipo, ya que es complicado porque en si una maquina puede realizar varias tareas iguales o mejores que un ser humano pero de ahí que puede generarse todo el éxito que el desarrollo de esta ciencia resulta.

DEFINICION DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL:

Es una de las áreas de las ciencias computacionales encargadas de la creación de hardware y software que tenga comportamientos inteligentes

La Inteligencia Artificial es una combinación de la ciencia del computador, fisiología y filosofía, tan general y amplio como eso, es que reúne varios campos (robótica, sistemas expertos, por ejemplo), todos los cuales tienen en común la creación de máquinas que pueden "pensar".

La idea de construir una máquina que pueda ejecutar tareas percibidas como requerimientos de inteligencia humana es un atractivo. Las tareas que han sido estudiadas desde este punto de vista incluyen juegos, traducción de idiomas, comprensión de idiomas, diagnóstico de fallas, robótica, suministro de asesoría experta en diversos temas.

La IA es una nueva generación de tecnología informática, caracterizada no sólo por su arquitectura (*hardware*), sino también por sus capacidades. El énfasis de generaciones previas fue en las computaciones numéricas para aplicaciones científicas o de negocios. La nueva generación de tecnología informática incluye además la manipulación simbólica, con el objetivo de emular el comportamiento inteligente; y, la computación en paralelo, para tratar de conseguir resultados prácticamente en tiempo real. La capacidad predominante de la nueva generación, también conocida como la Quinta Generación, es la habilidad de emular (y tal vez en algunos casos superar) ciertas funciones inteligentes del ser humano. Por ejemplo:

Aprendizaje:

- Captación automática de conocimientos.

Razonamiento:

- Sistemas basados en conocimientos.
- Bases de datos inteligentes.
- Prueba de teoremas y juegos.

Percepción:

- Comprensión de lenguaje natural.
- Interpretación de escenas visuales (Visión por computadora).

Locomoción y Manipulación:

- Realizar procesos mecánicos y tareas manuales (Robótica).

Creación:

- Generación, verificación, depuración y optimización automática de programas.

Características de la Inteligencia Artificial.

1. Una característica fundamental que distingue a los métodos de Inteligencia Artificial de los métodos numéricos es el uso de símbolos no matemáticos, aunque no es suficiente para distinguirlo completamente. Otros tipos de programas como los compiladores y sistemas de bases de datos, también procesan símbolos y no se considera que usen técnicas de Inteligencia Artificial.
2. El comportamiento de los programas no es descrito explícitamente por el algoritmo. La secuencia de pasos seguidos por el programa es influenciado por el problema particular presente. El programa especifica cómo encontrar la secuencia de pasos necesarios para resolver un problema dado (programa declarativo). En contraste con los programas que no son de Inteligencia Artificial, que siguen un algoritmo definido, que especifica, explícitamente, cómo encontrar las variables de salida para cualquier variable dada de entrada (programa de procedimiento).

Las conclusiones de un programa declarativo no son fijas y son determinadas parcialmente por las conclusiones intermedias alcanzadas durante las consideraciones al problema específico. Los lenguajes orientados al objeto comparten esta propiedad y se han caracterizado por su afinidad con la Inteligencia Artificial.

3. El razonamiento basado en el conocimiento, implica que estos programas incorporan factores y relaciones del mundo real y del ámbito del conocimiento en que ellos operan. Al contrario de los programas para propósito específico, como los de contabilidad y cálculos científicos; los programas de Inteligencia Artificial pueden distinguir entre el programa de razonamiento o motor de inferencia y base de conocimientos dándole la capacidad de explicar discrepancias entre ellas.
4. Aplicabilidad a datos y problemas mal estructurados, sin las técnicas de Inteligencia Artificial los programas no pueden trabajar con este tipo de problemas. Un ejemplo es la resolución de conflictos en tareas orientadas a metas como en planificación, o el diagnóstico de tareas en un sistema del mundo real: con poca información, con una solución cercana y no necesariamente exacta.

AGENTES INTELIGENTES

- El término Agente incluye a humanos, robots, termostatos, etc.
- La función agente mapea de un histórico de percepciones en acciones f: $P^* \rightarrow A$
- El programa del agente corre sobre la arquitectura física para producir f

Agente Racional:

Una medida fija del performance evalúa la secuencia del ambiente:

- Un punto por cuadrado limpio hasta el tiempo T.
- Un punto por cuadrado limpio en un paso de tiempo (time step), menos uno por movimiento?
- Penalizar por # cuadrados sucios $> k$?

Un Agente Racional escoge cualquier acción que maximice el valor esperado de la medida de performance dada la secuencia de percepciones hasta un momento dado.

la IA puede ser enfocada desde la perspectiva del desarrollo de agentes inteligentes. Esta idea, la cual puede ser considerada como un nuevo reto a corto plazo, está siendo avalada y respaldada por numerosos investigadores en la materia; sirva a modo de ejemplo la siguiente frase: *«Los agentes constituyen el próximo avance más significativo en el desarrollo de sistemas y pueden ser considerados como la nueva revolución en el software».*

Esta frase fue pronunciada por el Dr. Nicholas Jennings en su discurso al recoger el premio al mejor investigador novel del último congreso internacional de Inteligencia Artificial celebrado en Estocolmo (IJCAI'99). Resulta mucho más impactante aún cuando tal afirmación se ve refrendada por numerosos indicadores, como por ejemplo el gran interés despertado tanto a nivel académico como industrial. Frente a una afirmación de este tipo, surgen obligatoriamente ciertas preguntas de carácter general: ¿en qué consiste este nuevo paradigma?, ¿qué es un agente?, ¿cómo se caracteriza un agente?, ¿qué nos ofrece de nuevo? etc... Algunas de estas preguntas son difíciles de responder, entre otras cosas debido a que estamos hablando de una tecnología en ciernes y todavía existen lagunas a nivel conceptual y de desarrollo.

Definición: Cualquier parte o proceso de la mente/cerebro que resulte suficientemente sencillo de entender en su tarea. Las interacciones entre grupos de estos agentes pueden llegar a producir fenómenos más difíciles de entender.

El agente puede ser:

autónomo:

Un agente autónomo es un sistema anidado y parte integrante de un ambiente (environment) y que detecta o percibe (percepts) datos ambientales, momento a

momento, y actúa sobre él con la intención de usar (actions) esos datos para su propia tarea (task) o *agenda*, afectando así lo que va a detectar en el futuro, sin intervención de terceras partes (basado en Franklin y Greasser, 1996).

- racional, que hace lo correcto, siendo "ideal" si hipotéticamente lo consigue del todo.-
- inteligente, siendo aceptable cualquiera de las numerosas definiciones de inteligencia, por ejemplo, capaz de aprender/adaptivo.
- activo, o sea que tiene en cuenta la gama de acciones abiertas a la elección y sus recompensas o penalidades.
- pro-activo donde más allá de actuar en respuesta a su mundo, lo hace tomando la iniciativa.
- meta-intensivo (orientado a metas), que elige las acciones que lo conducen a la meta, que intenta lograr prioritariamente.
- modelo-intensivo, que tiene internalizado un cierto modelo del mundo y lo respeta en sus acciones.
- utilidad-intensivo, que se esfuerza por obtener un máximo de "felicidad".
- social-intensivo o de comunicación, capaz de comunicarse en algún lenguaje de comunicación para agentes comprensible para otros.
- de planificación, parecido al agente problema-intensivo (orientado a resolver problemas y tomar decisiones)
- *softbot* o sea robot basado en un software (como los robots bidimensionales de Beer que mimetizan a un invertebrado).
- reactivo cuando percibe perturbaciones en su mundo y responde a esa percepción de una manera actualizada (adaptada).
- reflejo o tropista, que responde de inmediato y en forma bien definida a un tropismo, a una percepción alarmante o beneficiosa (así un agente para el heliotropismo se orienta al sol).

Por "programa de agente" se entiende la vía que usa desde la percepción de su input y la acción de su output, pasando por estados internos de acuerdo con la función que cumple ese agente.

LIMITES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Visualice una fábrica en la que un equipo de robots realiza tareas pesadas moviéndose en un ambiente hostil y sin chocar con obstáculos, de manera similar a como lo haría un humano, pero con mejor coordinación y sin fatigarse. Ahora, imagine que alguien cometió el delito de plagio y ofrece el material a una empresa. Aparentemente todo va muy bien; sin embargo, el documento es analizado con un dispositivo de seguridad y, ¡oh sorpresa!, el sistema detecta que ese alguien no es el verdadero autor.

Asimismo, en este momento tome el lugar de una persona enferma del corazón, cuyo electrocardiograma es sometido a un sofisticado proceso de diagnóstico que lo evalúa y después de ello le indica que en dos meses tendrá un infarto. Usted cuenta con tiempo para prevenirlo.

Lo anterior podría parecer una serie de historias de ciencia-ficción; no obstante, estas tecnologías ya se aplican (las dos primeras de manera experimental) y se fundamentan en un sistema que tiene la capacidad de reconocer simbologías, signos y marcajes. Este procedimiento es conocido como análisis de imágenes y sus aplicaciones fueron desarrollados por un investigador del Centro de Investigación en Computación (CIC) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el doctor Juan Luis Díaz de León Santiago, en colaboración con su equipo científico.

La parte innovativa del proyecto proviene de su tesis doctoral titulada *Modelos geomorfométricos para el análisis de imágenes*, que consistió en proporcionar a los sistemas de cómputo y robotizados la cualidad de reconocer simbologías en fracciones de segundo, con lo que se trata de imitar la vista humana. Para ello se apoyó en el desarrollo de revolucionarios modelos de redes neuronales artificiales.

Cabe destacar que anteriormente los procesos de reconocimiento de formas y simbologías que se aplican en la planeación de trayectorias para robots se resolvía en horas.

La manera en que el investigador politécnico logró reducir el tiempo de las operaciones citadas se basa en la traducción de las imágenes a un lenguaje matemático. Específicamente hizo uso de la teoría de conjuntos, que es la que analiza las formas de los elementos que conforman una imagen. "Para que el análisis fuera más rápido, a la teoría matemática se le añadió una característica que le permite determinar la distancia y cercanía de las estructuras de la imagen. Entonces, cuando un robot, por ejemplo, está provisto de un dispositivo que lo hace capaz de analizar los objetos que le rodean y de saber medir las distancias entre ellos, puede tomar decisiones sobre cómo moverse al mismo tiempo en que lo haría un humano", explica el doctor Díaz de León.

Nuevas tecnologías

El modo de efectuar el análisis de imágenes es a través del reconocimiento de formas, ya que dentro de éstas hay estructuras especiales que pueden ser reveladoras.

Por tal motivo es posible detectar eficientemente un daño en el corazón, ya que en las imágenes electrocardiográficas podrá observarse hasta la alteración más insignificante

en las paredes del órgano. "En el ámbito médico esta aplicación es muy importante debido a que el sistema de diagnóstico es capaz de indicar en cuánto tiempo una persona puede sufrir un ataque, o bien, establece si hay necesidad de que sea intervenida quirúrgicamente", advierte Díaz de León, quien además indica que este método de diagnóstico ya se realiza en el hospital *Shands* de la Universidad de Florida. En cuanto a la vista artificial, el especialista y su equipo de trabajo han logrado que las máquinas *vean*, lo cual no es sólo que tengan una imagen en su memoria, sino que puedan determinar qué objetos se encuentra en algún espacio. Esta cualidad les permite planear sus movimientos de manera "inteligente", lo que se ha conseguido con la emulación del funcionamiento del cerebro humano hasta ciertos límites. La aplicación de citada teoría también analiza textos mecánicos y estilos caligráficos. "El sistema transforma este material en una imagen, la analiza y después de ello localiza algunas estructuras ocultas que caracterizan la forma de escribir de cada persona", explica otro investigador del CIC, el doctor Cornelio Yañez Márquez. Tal aporte puede contribuir en la resolución de problemas de plagio, falsificaciones, e incluso valorar si un texto está bien escrito.

A futuro

Actualmente, los investigadores del CIC siguen desarrollando proyectos derivados del análisis de imágenes. Uno de ellos es la creación y diseño de la infraestructura que requiere el método de cirugías a distancia.

Además, el control de robots podrá aplicarse en la construcción de prótesis "inteligentes", que debido a su funcionalidad, el paciente no sentirá la pérdida del segmento amputado después del implante.

A la vez, estos investigadores trabajan en el análisis de intención, que consiste en determinar las acciones que realizará un robot, de acuerdo con los movimientos de sus extremidades. Ello aplicado en telerobótica plantea la implantación de dos sistemas, uno maestro y otro esclavo. "El segundo copiará todos los movimientos del primero y así efectuarán un trabajo coordinado. Pero si en el momento en que se realiza una tarea el control maestro comete un error, es posible detectarlo y generar planes alternativos para que el sistema esclavo no se equivoque y con ello evitar que el trabajo se arruine", puntualiza el responsable del área, doctor Luis Alberto Muñoz.

TECNOLOGÍA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

TENDENCIAS DE LOS SISTEMAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Actualmente según Delgado [1998], Stuart [1996], existen tres paradigmas en cuanto al desarrollo de la IA.

- Redes Neuronales.
- Algoritmos genéticos.
- Sistemas de Lógica difusa.

Pero se han venido destacando otros paradigmas como lo son los agentes de decisión inteligente y autómatas programables, con respecto a estos últimos se suelen emplear en gran medida en procesos industriales de acuerdo a necesidades a satisfacer como, espacio reducido, procesos de producción periódicamente cambiantes, procesos secuenciales, maquinaria de procesos variables, etc.

A juicio de los autores se determina que todos estos desarrollos acortan bastante el proceso de decisiones y optimizan las mismas, pero ahí que tener mucho cuidado ya que hay que analizar los diferentes impactos ya sean ambientales, sociales, políticos y económicos.

Redes neuronales

A grandes rasgos, se recordará que el cerebro humano se compone de decenas de billones de neuronas interconectadas entre sí formando circuitos o redes que desarrollan funciones específicas.

Una neurona típica recoge señales procedentes de otras neuronas a través de una pléyada de delicadas estructuras llamadas dendritas. La neurona emite impulsos de actividad eléctrica a lo largo de una fina y delgada capa denominada axón, que se escinde en millares de ramificaciones.

Las extremidades de estas ramificaciones llegan hasta las dendritas de otras neuronas y establecen conexión llamada sinapsis, que transforma el impulso eléctrico en un mensaje neuroquímico mediante liberación de unas sustancias llamadas neurotransmisores que excitan o inhiben sobre la neurona, de esta manera la información se transmite de neuronas a otras y va siendo procesada a través de las conexiones sinápticas y el aprendizaje varía de acuerdo a la efectividad de la sinapsis.

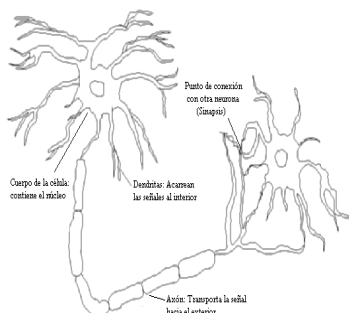


Figura 1. Neuronas y conexiones sinápticas.

Fuente: Sandra Patricia Daza, Universidad Militar Nueva Granada, 2003.

Un psicólogo D Hebb [1949], introdujo dos ideas fundamentales que han influido de manera decisiva en el campo de las redes neuronales. La hipótesis de Hebb, basadas en investigaciones psicofisiológicas, presentan de manera intuitiva el modo en que las neuronas memorizan información y se plasman sintéticamente en la famosa regla de aprendizaje de Hebb (también conocida como regla de producto). Esta regla indica que las conexiones entre dos neuronas se refuerza si ambas son activadas. Muchos de los algoritmos actuales proceden de los conceptos de este psicólogo.

Widrow [1959], publica una teoría sobre la adaptación neuronal y unos modelos inspirados en esta teoría, el Adaline (Adaptative Linear Neuron) y el Madaline (Múltiple Adaline). Estos modelos fueron usados en numerosas aplicaciones y permitieron usar, por primera vez, una red neuronal en un problema importante del mundo real: filtros adaptativos que eliminan ecos en las línea telefónicas.

Hopfield [1980], elabora un modelo de red consistente en unidades de proceso interconectadas que alcanzan mínimos energéticos, aplicando los principios de estabilidad desarrollados por Grossberg. El modelo resultó muy ilustrativo sobre los mecanismos de almacenamiento y recuperación de la memoria. Su entusiasmo y claridad de presentación dieron un nuevo impulso al campo y provocó el incremento de las investigaciones.

Sistemas de lógica difusa

A concepto de Delgado [1998] es la segunda herramienta que permite emular el razonamiento humano. Los seres humanos pensamos y razonamos por medio de palabras y en grados entre dos estados por ejemplo blanco y negro ó frío y caliente, etc. Estos sistemas de lógica difusa son una mejora a los sistemas experto tradicionales, en el sentido de que permiten utilizar lenguaje humano como nosotros razonamos

Ya hablando de sistemas expertos tradicionales, estos intentan reproducir el razonamiento humano de forma simbólica. Es un tipo de programa de aplicación informática que adopta decisiones o resuelve problemas de un determinado campo, como los sistemas de producción, las finanzas o la medicina, utilizando los conocimientos y las reglas analíticas definidas por los expertos en dicho campo. Los expertos solucionan los problemas utilizando una combinación de conocimientos basados en hechos y en su capacidad de razonamiento. En los sistemas expertos, estos dos elementos básicos están contenidos en dos componentes separados, aunque relacionados: una base de conocimientos y una máquina de deducción, o de inferencia. La base de conocimientos proporciona hechos objetivos y reglas sobre el tema, mientras que la máquina de deducción proporciona la capacidad de razonamiento que permite al sistema experto extraer conclusiones. Los sistemas expertos facilitan también herramientas adicionales en forma de interfaces de usuario y los mecanismos de explicación. Las interfaces de usuario, al igual que en cualquier otra aplicación, permiten al usuario formular consultas, proporcionar información e interactuar de otras formas con el sistema. Los mecanismos de explicación, la parte más fascinante de los sistemas expertos, permiten a los sistemas explicar o justificar sus conclusiones, y

también posibilitan a los programadores verificar el funcionamiento de los propios sistemas. Los sistemas expertos comenzaron a aparecer en la década de 1960. Sus campos de aplicación son la química, la geología, la medicina, la banca e inversiones y los seguros.

A experiencia de uno de los autores, el hardware en que se fundamentan estos sistemas que son circuitos integrados digitales son muy eficaces y de durabilidad de por vida si se les da correcto uso.

Algoritmos genéticos:

Según Delgado [1998] son una técnica inspirada en aspectos biológicos, el proceso de la evolución del que Charles Darwin hace referencia se puede aplicar para optimizar dispositivos de control o robots o cualquier otro tipo de aspectos que sean susceptibles de ser optimizados como líneas de producción.

En general es aceptado que cualquier algoritmo genético para resolver un problema, debe tener cinco componentes básicos como se vera a continuación:

- Se necesita una codificación o representación del problema, que resulte adecuada al mismo.
- Una manera de crear una población inicial de soluciones.
- Una función de ajuste ó adaptación al problema, también llamada función de evaluación, la cual asigna un número real a cada posible solución codificada.
- Durante la ejecución del algoritmo, los padres – dos individuos pertenecientes a la población inicial, que son soluciones factibles del problema- deben ser seleccionados para la reproducción; a continuación dichos padres seleccionados se cruzarán generando dos hijos, nuevas soluciones al problema, sobre cada uno de los cuales actuará un operador de mutación de acuerdo con una cierta

probabilidad. El resultado de la combinación de las anteriores funciones será un conjunto de individuos (posibles soluciones al problema), los cuales en la evolución del Algoritmo Genético formarán parte de la siguiente población.

- Valores para los parámetros: tamaño de la población, probabilidad de aplicación de los operadores genéticos.

Tecnología de los Sistemas Basados en Conocimiento.

Desde el punto de vista tecnológico, los Sistemas Basados en Conocimiento pueden presentar varias formas de aplicación:

- **Aislada:** un Sistema Basado en Conocimiento único se relaciona con el entorno.
- **Integrada:** varios Sistemas Basados en Conocimiento conectados a bases de conocimiento comunes. Tipo *Front-End* cuando todos los hechos y datos están físicamente en la base común. Tipo *Back-End* cuando los hechos y datos necesarios que no estén en las bases comunes, pueden obtenerse de otros SBC.
- **Embebida:** un Sistema Basado en Conocimiento está integrado con otros sistemas y no se lo distingue.

Tecnologías Involucradas.

Lenguajes de Programación

En principio, cualquier lenguaje de programación puede ser utilizado. Siendo así de amplio el espectro en el cual se puede escoger un lenguaje para programar un sistema experto. Atendiendo a la forma de estructurar sus instrucciones, se los puede dividir en:

IMPERATIVOS: PASCAL, C/C++.

FUNCIONALES: LISP.

DECLARATIVOS: PROLOG, CHIP, OPS5.

ORIENTADOS A OBJETOS: SmallTalk, Hypercard, CLOS.

Tradicionalmente LISP y PROLOG han sido los lenguajes que se han utilizado para la programación de sistemas expertos.

Estos lenguajes ofrecen características especialmente diseñadas para manejar problemas generalmente encontrados en Inteligencia Artificial. Por este motivo se los conoce como lenguajes de inteligencia Artificial.

Una de las principales características que comparten los lenguajes LISP y PROLOG, como consecuencia de su respectiva estructura, es que pueden ser utilizados para escribir programas capaces de examinar a otros programas, incluyendo a ellos mismos. Esta capacidad se requiere, por ejemplo, para hacer que el programa explique sus conclusiones.

Esto sólo puede hacerse si el programa tiene la capacidad de examinar su propio modo de operación.

Lisp

Su nombre se deriva de LISt Processor. LISP fue el primer lenguaje para procesamiento simbólico. John McCarthy lo desarrolló en 1958, en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), inicialmente como un lenguaje de programación con el cual los investigadores pudieran implementar eficientemente programas de computadora capaces de razonar.

Rápidamente LISP se hizo popular por su capacidad de manipular símbolos y fue escogido para el desarrollo de muchos sistemas de Inteligencia Artificial.

Actualmente, LISP es utilizado en varios dominios que incluyen la escritura de compiladores, sistemas para diseño VLSI, sistemas para diseño mecánico asistido por computadora (AUTOCAD), animaciones gráficas y sistemas basados en conocimiento.

Prolog

PROgramming in LOGic (PROLOG), es otro de los lenguajes de programación ampliamente utilizados en IA. PROLOG fue desarrollado en Francia, en 1973 por Alain Colmenauer y su equipo de investigación en la Universidad de Marseilles.

Inicialmente fue utilizado para el procesamiento de lenguaje natural, pero posteriormente se popularizó entre los desarrolladores de aplicaciones de IA por su capacidad de manipulación simbólica. Utilizando los resultados del grupo francés, Robert Kowalski de la Universidad de Edimburgo, en Escocia, desarrolló la teoría de la programación lógica. La sintaxis propuesta por Edimburgo, se considera el estándar de facto del PROLOG.

A partir de 1981 tuvo una importante difusión en todo el mundo, especialmente porque los japoneses decidieron utilizar PROLOG para el desarrollo de sus sistemas de computación de quinta generación. Actualmente existen varios dialectos del PROLOG para diferentes plataformas.

OPS5

Official Production System 5 (OPS5), es un lenguaje para ingeniería cognoscitiva que soporta el método de representación del conocimiento en forma de reglas.

Incorpora un módulo unificador, un intérprete que incluye un mecanismo de encadenamiento progresivo, y herramientas para edición y depuración de los programas.

OPS5 es un miembro de la familia de lenguajes de programación desarrollados en la Universidad Carnegie - Mellon. Varias compañías han desarrollado implementaciones comerciales de OPS5, para diferentes plataformas.

Sistemas de Desarrollo

Históricamente, los primeros Sistemas Basados en Conocimiento fueron desarrollados utilizando lenguajes de programación como el LISP y el PROLOG. A medida que el desarrollo de Sistemas Basados en Conocimiento iba aumentando en cantidad y complejidad, la comunidad científica comenzó a buscar formas de desarrollar los sistemas en menor tiempo y con menor esfuerzo.

Esto dio lugar al apareamiento, en primer lugar a sistemas vacíos como el EMYCIN, a los que denominó shells, ya que ofrecen toda la arquitectura de un Sistema Basado en Conocimiento a la que hay que incorporar la base de conocimientos.

Posteriormente ingresaron al mercado otras herramientas que incorporaron, además de opciones de representación del conocimiento, esquemas de inferencia y control. Estas herramientas tomaron el nombre de Entornos de Desarrollo de Sistemas Basados en Conocimiento.

A continuación se dan algunos ejemplos de sistemas comerciales:

- Sistemas Vacíos (*shells*): EMYCIN, Crystal, Leonardo, XiPlus, EXSYS, VP-Expert, Intelligence Compiler.
- Entornos híbridos de desarrollo: CLIPS, KEE, ART, EGERIA, Kappa, Nexpert Object, Goldworks, LOOPS, Flavors.

Plataformas de Computación

Íntimamente asociado a los Sistemas Expertos, están los sistemas computacionales (Hardware). Actualmente el software disponible para el desarrollo de Sistemas Basados en Conocimiento, cubre todo el rango de computadoras y sistemas operativos, desde PC's hasta máquinas especialmente dedicadas para procesamiento simbólico:

- Computadoras Personales (DOS, OS, Mac, WINDOWS, UNIX, LINUX).
- Estaciones de trabajo (VMS, UNIX).
- Máquinas simbólicas (LISP, PROLOG).
- Máquinas de arquitectura paralelo.

Robótica.

Los robots son dispositivos compuestos de sensores que reciben datos de entrada, una computadora que al recibir la información de entrada, ordena al robot que efectúe una determinada acción.

Hoy en día una de las finalidades de la construcción de robots es su intervención en los procesos de fabricación, encargados de realizar trabajos repetitivos en las cadenas de proceso de fabricación, como por ejemplo: pintar al spray, moldear a inyección, soldar carrocerías de automóvil, trasladar materiales, etc, entregando rapidez, calidad y precisión.

Robots Impulsados Neumáticamente.

La programación de estos robots consiste en la conexión de tubos de plástico a unos manguitos de unión de la unidad de control neumático. Modificando las conexiones de los manguitos de unión se podrán programar secuencias de pasos distintas.

Por su simpleza hay quienes opinan que a este tipo de máquinas no se les debería llamar robots; sin embargo, en ellas se encuentran todos los elementos básicos de un robot: son programables, automáticas y pueden realizar gran variedad de movimientos.

Robots Equipados con Servomecanismos.

Otro tipo de robots más sofisticados son los que llevan servomecanismos, el uso de servomecanismos va ligado al uso de sensores, como los potenciómetros, que informan de la posición del brazo o la pieza que se ha movido del robot para asegurar su correcta posición.

Robots Punto a Punto.

Añadiendo a los servomecanismos una memoria electrónica capaz de almacenar programas y un conjunto de circuitos de control digital, se obtienen robots más potentes y de más fácil manejo.

La programación de este tercer tipo de robots se efectúa mediante una caja de control que posee un botón de control de velocidad, mediante el cual se puede ordenar al robot la ejecución de los movimientos paso a paso. Se clasifican, por orden de ejecución, los pasos que el robot debe seguir, al mismo tiempo que se puede ir grabando en la memoria la posición de cada paso. Este será el programa que el robot ejecutará. Una vez terminada la programación, el robot inicia su trabajo según las instrucciones del programa. A este tipo de robots se les llama punto a punto, porque el camino trazado para la realización de su trabajo está definido por pocos puntos.

Algunas aplicaciones para estos robots: su uso en las cadenas de soldadura de carrocerías de automóviles. Los robots están programados para soldar automóviles de varios modelos distintos. El programador, o un censor, reconoce el tipo de automóvil y decide el programa que se ha de aplicar en cada caso.

Robots Controlados por Computadora.

Un cuarto tipo de robots comprende aquellos que se pueden controlar mediante computadora. Con ella es posible programar el robot para que mueva sus brazos describiendo cualquier figura geométrica entre puntos preestablecidos. El movimiento de sus brazos se especifica mediante varios sistemas de coordenadas según la referencia que se tome.

Robots con Capacidades Sensoriales.

Aún se pueden añadir a este tipo de robots capacidades sensoriales: sensores ópticos, codificadores, etc. Los que no poseen estas capacidades sólo pueden trabajar en ambientes donde los objetos que se manipulan se mantienen siempre en la misma posición.

En el caso de la cadena de soldadura de carrocerías de automóviles, las carrocerías están en movimiento hasta que llegan delante del robot, donde quedan inmóviles hasta que éste termina su trabajo; en este momento la cadena se vuelve a poner en movimiento hasta que vuelve a detenerse cuando otra carrocería está delante del robot. Si estos robots tuvieran capacidades sensoriales, podrían suprimirse las paradas en la cadena.

Los robots con capacidades sensoriales constituyen la última generación de este tipo de máquinas. El uso de estos robots en los ambientes industriales es muy escaso debido a su elevado coste. A pesar de todo, la investigación sobre los aparatos sensoriales está en pleno apogeo, lo que conducirá seguramente a un abaratamiento de éstos y a un aumento de su potencia y de sus capacidades. Se usan en cadenas de embotellado para comprobar si las botellas están llenas o si la etiqueta está bien colocada.

Perspectivas Futuras.

Con poco más de diez años de antigüedad, la Vida Artificial se ha convertido en un punto de referencia sólido de la ciencia actual.

En septiembre de 1987, 160 científicos en informática, física, biología y otras disciplinas se reunieron en el Laboratorio Nacional de Los Álamos para la primera conferencia internacional sobre Vida Artificial. En aquella conferencia se definieron los principios básicos que han marcado la pauta desde entonces en la investigación de esta disciplina.

Un concepto básico dentro de este campo es el de *comportamiento emergente*. El comportamiento emergente aparece cuando se puede generar un sistema complejo a partir de reglas sencillas. Para que se dé este comportamiento se requiere que el sistema en cuestión sea iterativo, es decir, que el mismo proceso se repita de forma continua y además que las ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento de cada paso sean no lineales.

Por otra parte, un autómata celular consiste en un espacio n-dimensional dividido en un conjunto de celdas, de forma que cada celda puede encontrarse en dos o más estados, dependiendo de un conjunto de reglas que especifican el estado futuro de cada celda en función del estado de las celdas que le rodean.

Hay dos posturas dentro de la Vida Artificial: **la fuerte y la débil**.

Para los que apoyan la postura débil, sus modelos son solamente representaciones simbólicas de los síntomas biológicos naturales, modelos ciertamente muy útiles para conocer dichos sistemas, pero sin mayores pretensiones.

Para los que defienden la versión fuerte, dicen que se puede crear vida auténtica a partir de un programa de ordenador que reproduzca las características básicas de los seres vivos.

Desde este punto de vista, la vida se divide en **vida húmeda**, que es lo que todo el mundo conoce como vida, **vida seca**, formada por autómatas físicamente tangibles, y **vida virtual**, formada por programas de computador. Las dos últimas categorías son las que integran lo que genéricamente se conoce como Vida Artificial.

Para defender un punto de vista tan radical, los defensores de la postura fuerte, aluden a un conjunto de reglas que comparten las tres categorías anteriores:

- **La biología de lo posible.**

La Vida Artificial no se restringe a la vida húmeda tal como la conocemos, sino que "se ocupa de la vida tal como podría ser". La biología ha de convertirse en la ciencia de todas las formas de vida posibles.

Método sintético.

La actitud de la Vida Artificial es típicamente sintética, a diferencia de la biología clásica, que ha sido mayoritariamente analítica. Desde este punto de vista, se entiende la vida como un todo integrado, en lugar de desmenuzarlo en sus más mínimas partes.

- **Vida real (artificial).**

La Vida Artificial es tal porque son artificiales sus componentes y son artificiales porque están contruidos por el hombre. Sin embargo, el comportamiento de tales sistemas depende de sus propias reglas y en ese sentido es tan genuino como el comportamiento de cualquier sistema biológico natural.

- **Toda la vida es forma.**

La vida es un proceso, y es la forma de este proceso, no la materia, lo que constituye la esencia de la vida. Es absurdo pretender que sólo es vida genuina aquella que está basada en la química del carbono, como es el caso de la vida húmeda.

- **Construcción de abajo hacia arriba.**

La síntesis de la Vida Artificial tiene lugar mejor por medio de un proceso de información por computador llamado programación de abajo hacia arriba. Consiste en partir de unos pocos elementos constitutivos y unas reglas básicas, dejar que el sistema evolucione por sí mismo y que el comportamiento emergente haga el resto. Poco a poco el sistema se organiza espontáneamente y empieza a surgir orden donde antes sólo había caos.

Esta clase de programación contrasta con el principio de programación en la Inteligencia Artificial. En ella se intenta construir máquinas inteligentes hechos desde arriba hacia abajo, es decir, desde el principio se intenta abarcar todas las posibilidades, sin dejar opción a que el sistema improvise.

El principio de procesamiento de información en la Vida Artificial se basa en el **paralelismo masivo que ocurre en la vida real**. A diferencia de los modelos de Inteligencia Artificial en los que el procesamiento es secuencial, en la Vida Artificial es de tipo paralelo, tal y como ocurre en la mayoría de fenómenos biológicos.

Granja de Evolución.

La evolución en la naturaleza fue la clave para mejorar los organismos y desarrollar la inteligencia. Michael Dyer, investigador de Inteligencia Artificial de la Universidad de California, apostó a las características evolutivas de las redes neuronales (redes de neuronas artificiales que imitan el funcionamiento del cerebro) y diseñó Bio-Land.

Bio-Land es una granja virtual donde vive una población de criaturas basadas en redes neuronales.

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La incorporación de agentes de decisión inteligente, redes neuronales, sistemas expertos, algoritmos genéticos y autómatas programables para optimización de sistemas de producción es una tendencia activa en el ambiente industrial de países con alto desarrollo tecnológico y con una gran inversión en investigación y desarrollo. Dichos componentes de la Inteligencia Artificial tienen como función principal controlar de manera independiente, y en coordinación con otros agentes, componentes industriales tales como celdas de manufactura o ensamblaje, y operaciones de mantenimiento, entre otras.

Existe una tendencia creciente a la implementación de sistemas de manufactura/ensamblaje más autónomos e inteligentes, debido a las exigencias del mercado por obtener productos con niveles muy altos de calidad; lo cual con operaciones manuales se hace complicada y hace que los países subdesarrollados como el nuestro no alcance niveles competitivos a nivel mundial. Al diseñar un sistema de producción integrado por computadora se debe dar importancia a la supervisión, planificación, secuenciación cooperación y ejecución de las tareas de operación en centros de trabajo, agregado al control de los niveles de inventario y características de calidad y confiabilidad del sistema. Los factores mencionados determinan la estructura del sistema y su coordinación representa una de las funciones más importantes en el manejo y control de la producción.

Muy frecuentemente, la razón para construir un modelo de simulación es para encontrar respuestas a interrogantes tales como ¿Cuáles son los parámetros óptimos para maximizar o minimizar cierta función objetivo? En los últimos años se han producido grandes avances en el campo de la optimización de sistemas de producción. Sin embargo, el progreso en el desarrollo de herramientas de análisis para resultados de modelos de simulación ha sido muy lento. Existe una gran cantidad de técnicas tradicionales de optimización que sólo individuos con gran conocimiento estadístico y de conceptos de simulación han logrado aportes significativos en el área.

Debido al auge de los algoritmos de búsqueda meta-heurísticos, se ha abierto un nuevo campo en el área de optimización con simulación. Nuevos paquetes de software, tales como OptQuest (Optimal Technologies), SIMRUNNER (Promodel Corporation) y Evolver (Palisade Software), han salido al mercado brindando soluciones amigables de optimización de sistemas que no requieren control interno sobre el modelo construido, sino sobre los resultados que dicho modelo arroja bajo diferentes condiciones. Además, nuevas técnicas de inteligencia artificial aplicadas a problemas de optimización estocástica, han demostrado su eficiencia y capacidad de cómputo y aproximación.

El Aprendizaje Reforzado (Reinforcement Learning) es un conjunto de técnicas diseñadas para dar solución a problemas cuya base son los procesos de decisión markovianos. Los procesos markovianos son procesos estocásticos de decisión que se basan en el concepto de que la acción a tomar en un estado determinado, en un instante determinado, depende sólo del estado en que se encuentre el sistema al momento de tomar la decisión.

Una de las áreas que puede tener mayor incidencia directa en los procesos productivos de la industria nivel mundial, es el diseño de sistemas de soporte para la toma de decisiones basados en la optimización de los parámetros de operación del sistema. Para tal efecto, el uso de técnicas inteligentes paramétricas y no paramétricas para el análisis de datos es de gran interés.

Sin embargo, a juicio de los autores en la mayoría de las arquitecturas propuestas hasta el momento para manufactura integrada por computadora, carecen de un factor de integración fundamental. La comunicación entre los diversos niveles jerárquicos de una planta de producción es muy poca, ya que cada departamento se limita a realizar su función sin buscar una integración de toda la planta productiva a excepciones de empresas como ABB con su software Baan, etc.

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS ESPECIFICOS DE PRODUCCION Operación automática de control de calidad usando un sistema de visión por computador

Todo proceso industrial es evaluado por la calidad de su producto final, esto hace de la etapa de control de calidad una fase crucial del proceso. Los mecanismos utilizados para establecer la calidad de un producto varían dependiendo de los parámetros que tengan relevancia en el mismo. Cuando el parámetro relevante es la geometría o forma del objeto fabricado se suele dejar a la vista del operario que lleve a cabo tal función tanto de inspección como de verificación para el control de calidad, sin embargo pueden existir errores en la geometría de un objeto que escapen de la vista de un operario y que luego impidan el buen funcionamiento de dicho objeto. En un caso como éste, surge como una buena alternativa el utilizar un sistema de visión artificial capaz de detectar aquellos errores que un operario pudiera pasar por alto. El sistema de visión artificial Robot Visión PRO, es capaz de ejecutar de manera totalmente automática las labores de identificación de objetos y de control de calidad de los mismos.

El sistema Robot Visión PRO es un paquete de software de visión que permite la adquisición de imágenes, preprocesamiento y segmentación. Además realiza procesamiento de datos de alto nivel que brinda filtrado de imágenes, elaboración de clusters y patrones, e identificación de objetos. Este sistema cuenta con una videocámara y un monitor encargado de identificar cada una de las piezas salientes del proceso y hacer una comparación con piezas de 100% calidad para luego determinar si el empaque puede salir al mercado o debe desecharse.

A continuación se presentan algunas imágenes suministradas por el sistema Robot Visión PRO Para la ejecución de la operación de control de calidad. Fueron dispuestos los empaques de tal forma que las geometrías quedaran plenamente contenidas en el programa, y se procedió posteriormente a realizar de forma individual el control de calidad para cada uno de los empaques.

APRENDIZAJE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En lugar de hacer aquellas actividades para las que han sido programadas, ¿pueden las máquinas aprender cosas nuevas y adaptarse a nuevas situaciones? En 1961, Ada Augusta dijo "la máquina analítica ... puede hacer lo que sea si se le ha indicado la manera de hacerlo". Es decir, no hay nada que prohíba que a una computadora se le diga como interpretar sus entradas de modo que su rendimiento aumente gradualmente.

En 1983 Simon propuso que el aprendizaje implica "cambios en el sistema que se adaptan en el sentido de que le permiten llevar a cabo la misma tarea a partir de las mismas condiciones de un modo más eficiente y eficaz a la vez". Así definido el aprendizaje cubre una amplia gama de fenómenos desde la adquisición de conocimiento hasta el perfeccionamiento de la habilidad.

El simple almacenamiento de información computada conocido como aprendizaje memorístico, constituye la actividad de aprendizaje más básica.

Otra forma de aprender es pidiendo consejos. Esta técnica resulta similar a la anterior, solo que puede ser necesario que los consejos de alto nivel sean primero operacionalizados para que los programas los utilicen en la resolución de problemas.

También es posible aprender a través de la propia experiencia adquirida en la resolución de problemas. A partir de la estructura de un problema y los métodos que se emplearon para resolverlo, se puede generalizar el método para solucionar otros problemas relacionados de un modo más fácil.

Otra forma de aprendizaje es el aprendizaje a partir de ejemplos. Esto se basa en aprender a clasificar las cosas sin haber recibido reglas explícitas. Algunos programas hacen uso de un profesor que ayuda a clasificar las cosas corrigiendo errores.

¿Qué es el aprendizaje?

Simon (1983), define el aprendizaje como cambios en el sistema que se adaptan de manera que permiten llevar a cabo la misma tarea de un modo más eficiente y eficaz.

En la práctica, el aprendizaje se usa para resolver problemas y puede representar la diferencia entre la resolución rápida y la imposibilidad de resolverlo. La idea de poder aprender de la propia experiencia en la resolución de problemas nos lleva a esperar obtener mejores soluciones en un futuro.

El aprendizaje está relacionado con el conocimiento. Puede definirse como el proceso mediante el cual un ente adquiere conocimiento. Este conocimiento puede ser suministrado por otro ente denominado profesor o puede adquirirse sin la ayuda del mismo.

Hay distintas formas de aprendizaje, entre las cuales se verán:

- Aprendizaje memorístico
- Aprendizaje a través de consejos
- Aprendizaje mediante experiencia en la resolución de problemas
- Aprendizaje a partir de ejemplos o Inducción
- Aprendizaje basado en explicaciones
- Descubrimiento
- Analogía
- Redes Neuronales

Aprendizaje memorístico

El **aprendizaje memorístico** es la actividad de aprendizaje más básica y rudimentaria. Consiste en el simple almacenamiento de la información computada.

Este proceso al cual muchos no llamarían aprendizaje, puede considerarse como tal desde el punto de vista que puede mejorar el rendimiento de un programa existente. Produce un ahorro cuando el efectuar un cálculo nuevamente resulta más caro que reutilizar su resultado conocido.

Samuel (1963), en su juego de damas, utiliza una combinación de aprendizaje memorístico y aprendizaje mediante el ajuste de parámetros (sección 3.4.1). Utiliza el algoritmo Minimax, memorizando el valor de evaluación de un tablero raíz. Si en un futuro se llega a una situación similar, se reutiliza la evaluación memorizada en lugar de aplicar la búsqueda nuevamente.

Surgen dos cuestiones importantes a considerar:

- Almacenamiento organizado de la información: para que resulte conveniente reutilizar un valor almacenado debe resultar más rápido buscarlo que recalcularlo, y por lo tanto el almacenamiento debe ser organizado de acuerdo a algún criterio. Ej. En el programa de Samuel, se ordenaba en índices las posiciones del tablero por medio de alguna de las características importantes.
- Generalización de la información: para mantener en un nivel manejable el número de objetos almacenados se necesita hacer alguna especie de generalización de la información. Ej. detectar situaciones simétricas en el tablero.

Aprendizaje a través de consejos

Otra forma de **aprendizaje** es **a través de consejos**. Estos son suministrados por una persona en un lenguaje de alto nivel, por ej. lucha por controlar el centro del tablero de ajedrez. El programa es capaz de traducir el consejo en un lenguaje más operativo y usarlo para modificar su comportamiento, por ej., ajuste de la función de evaluación para introducir factor basado en el número de cuadros del centro ocupados por piezas de un color.

Mostow (1983), define **FOO**, un programa que juega con naipes a corazones.

Ejemplo de consejo: evitar hacer puntos,

que puede darse en una notación más conveniente tipo LISP:

```
( evitar
  (hacerme_puntos (baza) )
)
```

Después de un proceso de reemplazos, el programa traduce el consejo a

```
( llevar_a_cabo
  ( >=
    (AND
      ( mismo_palo (carta_mia)
        posible ( baza_tiene_puntos)
      )
    )
    (carta_baja (carta_mia))
  )
)
```

El programa ha convertido un consejo en una heurística específica que puede utilizar al jugar, y que lo capacita para jugar mejor.

Una persona podría observar cómo juega el programa, detectar nuevos fallos, y corregirlos mediante nuevos consejos.

Aprendizaje mediante experiencia en la resolución de problemas

En la sección anterior se explica cómo un resolutor de problemas puede mejorar a través de los consejos de un profesor. En esta sección se explica cómo un programa puede mejorar sin ayuda externa sino mediante la generalización de sus propias experiencias.

Aprendizaje a partir de ejemplos o Inducción

La **clasificación** es el proceso de asignarle a una cierta entras concreta el nombre de una clase a la que pertenece. Se emplea en tareas de reconocimiento como por ej. reconocimiento de caracteres, de piezas defectuosas, etc.

En primer lugar se deben definir las clases que utilizará la clasificación. Las clases pueden describirse usando:

- **Modelo estadístico:** cada clase está definida por una función F que incluye las características c_i relevantes del dominio específico ponderadas por un peso p_i

$$F = c_1 * p_1 + \dots + c_n * p_n$$

- **Modelo estructural:** cada clase está definida por una estructura compuesta por las características relevantes del dominio específico. Ej. si la tarea es definir clases de animales, el cuerpo puede verse como una estructura de color, cantidad de patas, longitud, manchas, etc.

Dado que la tarea de construir manualmente las clases resulta un proceso difícil, se pretende que el programa de clasificación incluya las definiciones de sus propias clases.

El proceso de construir definiciones de clases se denomina aprendizaje de conceptos o inducción. Si las clases se definen con un modelo estadístico, el aprendizaje de conceptos se puede hacer utilizando una técnica conocida como ajuste de parámetros (sección 3.4.1.). En esta sección se verán tres técnicas de aprendizaje de conceptos para clases definidas de un modo estructural:

- Programa de aprendizaje de Winston
- Espacios de versiones
- Árboles de decisión

Estas técnicas tienen en común que comienzan el proceso de aprendizaje a partir de una serie de ejemplos de entrenamiento de los que se conoce su clasificación.

CONCLUSIONES

Dentro del ámbito de las Ciencias de la Computación la **Inteligencia Artificial** es una de las áreas que causa mayor expectación, incluso dentro de la sociedad en general, debido a que la búsqueda para comprender los mecanismos de la inteligencia, ha sido la piedra filosofal del trabajo de muchos científicos por muchos años y lo sigue siendo.

Dentro de las áreas de la **Inteligencia Artificial** lo que más ha atraído, es el aprendizaje de máquinas, resultando vital el proceso de emular comportamientos inteligentes.

Que un sistema pueda mejorar su comportamiento sobre la base de la experiencia que recoge al efectuar una tarea repetitiva y que además, tenga una noción de lo que es un error y que pueda evitarlo, resulta apasionante.

¿Pueden los computadores aprender a resolver problemas a partir de ejemplos?

No hace tanto tiempo esta pregunta bordeaba la ciencia ficción, pero ahora es objeto de profundos y prometedores estudios.

Las redes de neuronas formales son máquinas que poseen esta capacidad de aprendizaje. Son máquinas propuestas como modelos extremadamente simplificados del funcionamiento del cerebro que sienta las bases de un modelo colectivo, donde el sistema global presenta propiedades complejas que no pueden predecirse a partir del estudio individual de sus componentes.

Los estudios teóricos de redes de neuronas reflejan estos dos aspectos: el de la modelización de fenómenos cognitivos y el del desarrollo de aplicaciones.

Por ejemplo para una máquina, la clasificación de rostros, datos médicos o reconocimiento de letras son tareas difíciles, más que para un ser humano. La máquina necesita del aprendizaje, donde el asunto consiste en adaptar los parámetros de un sistema, en este caso artificial, para obtener la respuesta deseada.

Los métodos tradicionales en **Inteligencia Artificial** que permitieron el desarrollo de los primeros sistemas expertos y otras aplicaciones, ha ido de la mano de los avances tecnológicos y las fronteras se han ido expandiendo constantemente cada vez que un logro, considerado imposible en su momento, se vuelve posible gracias a los avances en todo el mundo, generando incluso una nueva mentalidad de trabajo que no reconoce fronteras físicas ni políticas. Se entiende como un esfuerzo común.

La comprensión de los mecanismos del intelecto, la cognición y la creación de artefactos inteligentes, se vuelve cada vez más una meta que sueño, a la luz de los enormes logros, tan solo en alrededor de medio siglo de desarrollo de las ciencias de la computación y de poner la lógica al servicio de la construcción de sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

En sitios de Internet:

[http://dmi.uib.es/~abasolo/intart/3-aprendizaje.html#3.2.](http://dmi.uib.es/~abasolo/intart/3-aprendizaje.html#3.2)

<http://www.monografias.com>