

EJEMPLOS DE APLICACION DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ARQUEOLOGIA

RUTH MAICAS RAMOS
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

Resumen

Presentamos un prototipo de aplicación a la Arqueología dentro del campo de la Inteligencia Artificial, y más concretamente de los Sistemas Expertos.

Summary

We present a prototype of Artificial Intelligence - specifically of Expert Systems - applied to Archaeology.

La más "famosa" definición de "máquina inteligente" es la que hace referencia a la capacidad conversacional de la misma, igualando la versatilidad y recursos deductivos del cerebro humano. Esto es en realidad un objetivo futurible aún; conseguir que nuestra máquina aprenda de observaciones y errores modificando sus actos en función de lo aprendido, es ya un logro notable. En los programas de Inteligencia Artificial se sigue un esquema deductivo organizado en "árboles de decisión". Cada nudo de este árbol implica una bifurcación en el camino a seguir; podemos entender estos nudos como preguntas, nuestras respuestas encaminarán el programa hacia la meta y ofrecerán una solución correcta. Puede ocurrir, no obstante, que la solución mostrada aún siendo correcta no sea única. Un ejemplo simplificado podría seguir esta trayectoria de respuestas :

Resto óseo —> R.óseo trabajado —> útil —> punzón

Ciertamente los punzones son útiles, pero desde luego no es la única respuesta posible; lo que ocurre en este caso es que nuestro programa no conoce más que un elemento que cumpla las premisas que se le han ido indicando. Si nuestro programa es capaz de incorporar nuevos conocimientos, es decir, si puede "aprender" nuevos datos que verifiquen las hipótesis (en este caso: espátula, aguja, etc.), estaríamos ante un sistema de aprendizaje. Este es un esquema bastante simple del funcionamiento de programas de Inteligencia Artificial. Evidentemente estos programas admiten estructuras mucho más complejas.

La I.A. se orienta actualmente en tres direcciones:

A) Sistemas de percepción

- .Visión computerizada
- .Lenguaje natural
- .Reconocimiento de voz

B) Sistemas de aprendizaje

C) Sistemas basados en el conocimiento

- .Sistemas Expertos
- .Robótica

De la misma forma que se han aplicado a la arqueología herramientas informáticas tan conocidas hoy como las bases de datos, hojas electrónicas o programas gráficos, empiezan a utilizarse igualmente los programas de inteligencia artificial. En estas áreas pueden emplearse desde complejos programas de reconocimiento de formas basados en sistemas de percepción, aplicables al estudio cerámico, por ejemplo; hasta los sistemas expertos de orientación pedagógica, o los muy específicos como podrían ser aquellos que permitiesen la identificación de especies/tipos poco estudiados. En general parece prestarse una mayor atención al campo cerámico, pero las posibilidades son mucho más amplias.

Los Sistemas Expertos son actualmente las herramientas de Inteligencia Artificial más utilizadas en las distintas áreas. Se define un S.E. como un sistema informático que incorpora el conocimiento de un experto y lo maneja explicando y justificando sus respuestas. Dentro de los SS.EE., los más difundidos hasta el momento, son los basados en reglas de producción, si bien no es ésta la única posibilidad para la representación del conocimiento (redes semánticas, "frames" o marcos, etc.). Los sistemas de reglas se basan en el álgebra de Boole, mediante la cual es posible construir todo el esquema de razonamiento.

Las reglas de este tipo de programas se definen con un esquema sencillo:

SI (condición / condiciones) ENTONCES (consecuencia)

Esas premisas y sus consecuencias son, desde luego, "traducidas" al lenguaje o herramienta utilizado para la creación del programa. Las reglas se encadenan permitiéndonos partir de un estado en el que no se posee ninguna información, para que recorriendo el árbol de decisión se llegue hasta la rama terminal en la que se encuentra la meta o solución.

En algunos casos las respuestas no pueden ser tajantes y por ello es necesario introducir el concepto de "incertidumbre", que se traduce en probabilidades asociadas a las variables empleadas y cuyo resultado depende de diversos factores (nexos de unión de las reglas). Esto supone no "podar" las ramas del árbol de decisión, sino asignar una probabilidad a cada una de ellas, mostrándonos todas las posibles soluciones a un problema y la fiabilidad de cada respuesta.

Otro problema que puede fácilmente surgir en un programa basado en reglas es el de que muchas de éstas pueden tener excepciones y si todas ellas se tienen presentes, la tabla de reglas se verá incrementada notablemente, lo que supondrá una disminución en la velocidad de decisión

del programa. Por ello, muchas veces es aconsejable dividir el problema, creando sistemas modulares dedicados cada uno de ellos, a la resolución de tareas menores o intermedias.

Desde el punto de vista puramente informático, un S.E. consta de:

- Base de hechos (en ella se almacena tanto la información de que se dispone, como aquella que puede ser deducida en cada nuevo proceso).

- Base de conocimientos (conjunto de reglas que se aplican a la Base de hechos).

- Motor de inferencias (conjunto de algoritmos que permiten la deducción de nuevos hechos a partir de las reglas o la búsqueda de hechos que permitan verificar una hipótesis o una consecuencia dada).

- Módulo de justificación y explicación (permite que al programa indicarnos porqué y como se van disparando las reglas).

- Interfases con el usuario (permiten la comunicación con el programa y facilitan su manejo por parte del usuario).

En la oferta informática actual, hay diversos tipos de SS.EE.: Sistemas de diagnóstico, sistemas de entrenamiento, etc. Algunos son muy complejos, pero existen otros de esquema muy simple que pueden hacer pensar que no son muy distintos de los programas tradicionales. Una de las principales ventajas de los SS.EE. se basa en que cualquier cambio en el conocimiento de un tema, o en el algoritmo de tratamiento de la información, obligaría, en el esquema tradicional de programación, a rehacer el programa completo, mientras que en un S.E. solo supondría un cambio en la base de reglas externa al propio programa.

La creación de un S.E. puede ser más o menos laboriosa según se empleen unos medios u otros. Puede realizarse el programa con lenguajes tradicionales (BASIC, Pascal, C, etc.), así por ejemplo programas como Arxeos IV están realizados en BASIC (Sánchez Meseguer, 1988). Algo más sencillo sería realizar un S.E. en lenguajes de I.A. como el Lisp o el Prolog. Más sencillo aún sería partir de un entorno de desarrollo y aún más simple emplear un "shell" o concha. La elección de un medio u otro dependerá de lo que se desee hacer y del conocimiento de que se disponga, ya que la mayor libertad permitida por los lenguajes de programación, va unida a una mayor dificultad de utilización.

El proceso de elaboración de un S.E. empieza mucho antes de la realización del programa. Un primer paso sería la introducción al tema con la determinación de objetivos, para pasar a realizar un diagrama conceptual. La ingeniería del conocimiento considera fundamental este paso ya que de él depende en buena medida la calidad del programa. El diagrama conceptual trata de reflejar los factores que determinan una meta parcial y final, así como los valores que pueden tomar dichos factores. Es bastante fácil confundir el diagrama conceptual con una taxonomía, de ahí la dificultad en la elaboración del mismo. Supongamos un S.E. para la clasificación de cerámica, uno de nuestros módulos tendrá como objetivo final la determinación de recipientes cerámicos decorados de la Edad del Bronce. Si seguimos una trayectoria cuyo resultado final sea: "cazuela campaniforme", nuestro diagrama conceptual tendrá un esquema similar al de la Figura 1. En él los factores determinantes son aspectos como la distribución de la decoración, motivos decorativos, aditivos, técnicas, etc. Los valores (valores iniciales) para cada factor serían por ejemplo en el caso de la distribución de la decoración: "total" (como simplificación de un recipiente decorado en toda su superficie), "galbo" (si sólo aparece en esta zona), etc. Como factor intermedio podríamos tener en este ejemplo el tipo de decoración con sus valores ya deducidos de la combinación de los factores anteriores, así: boquique, millares, campaniforme, etc. Si a este factor le añadimos otro que atienda a los aspectos formales (al que se ha llegado o no por

pasos intermedios), nuestro programa deducirá por ejemplo: “cazuela campaniforme”. Evidentemente un programa con dicho objetivo podría ser mucho más complejo ya que la clasificación deseada sería con seguridad más concreta, pero en líneas generales seguiría este esquema.

Frente a esto una taxonomía diferenciaría los distintos tipos de cerámicas decoradas de la Edad del Bronce (campaniforme, boquique, millares, dornajos, etc.), y en diferentes niveles precisaría sus variedades, subtipos y formas, un esquema así construido no nos permite crear un S.E.

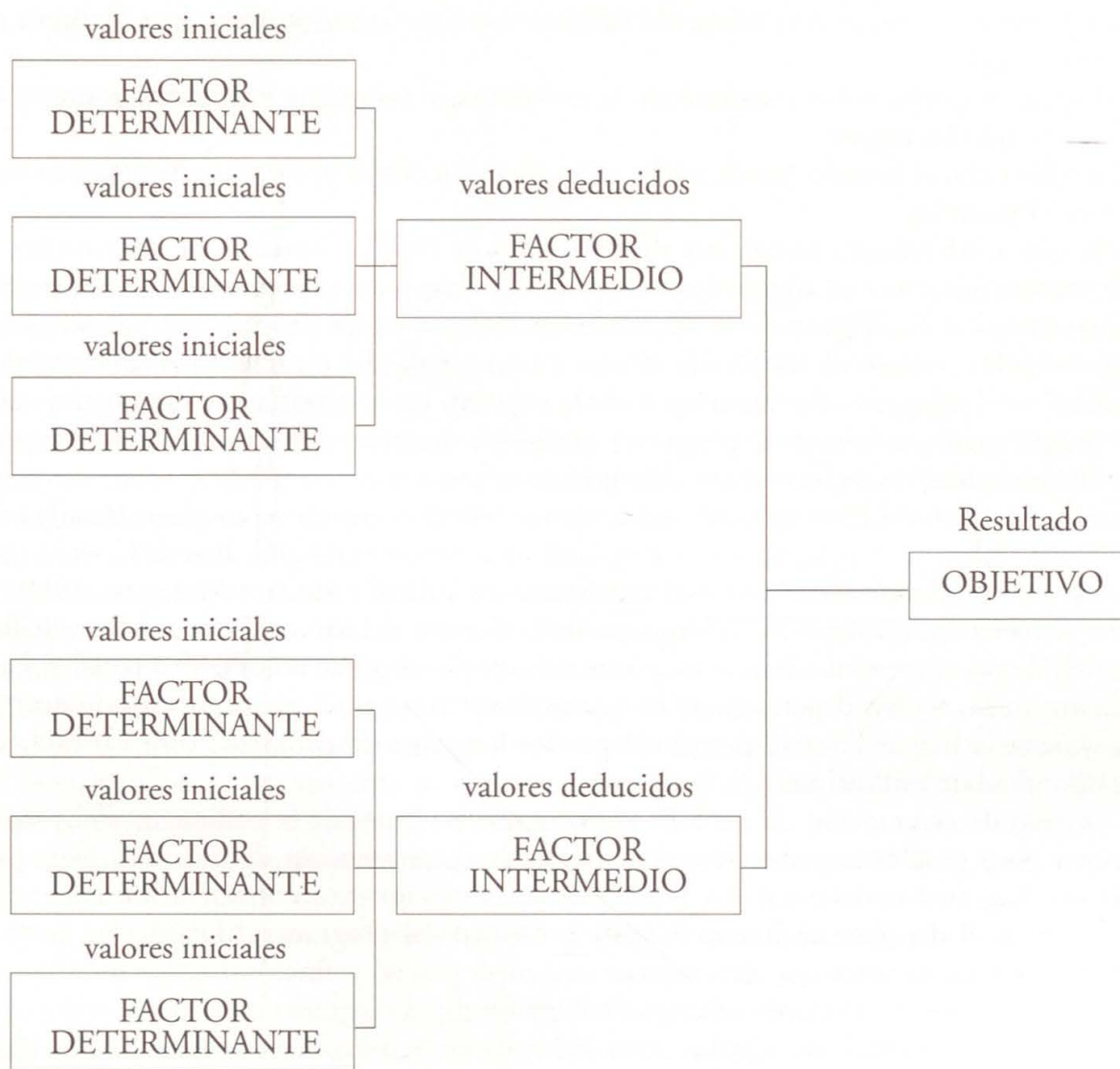


Fig.1 Esquema del diagrama conceptual

Tras realizar el diagrama conceptual es preciso convertirlo en reglas simples o compuestas según las necesidades. Cuando varias premisas son necesarias para determinar un mismo objetivo/subobjetivo puede recurrirse tanto a una regla compuesta como a varias simples, la elección dependerá de la complejidad del problema a tratar ya que un largo encadenamiento de las premisas sumatoria, condicional o negativa, puede hacer muy difícil la regla aumentando el riesgo de error.

Después habría que realizar los interfases con el usuario, incluyendo las explicaciones que en cada caso fuesen necesarias, y finalmente comprobar e instalar el programa. Este proceso se completa con una realimentación, corrigiendo o mejorando aquellas partes del sistema que así lo requieran. Como norma general un programa nunca está completo y siempre puede ser mejorado.

Los SS.EE. organizados mediante reglas son de fácil aplicación en muchos campos de la arqueología. Presentamos aquí un ejemplo de estas aplicaciones: "Dentalia". Se trata de un sistema de identificación ósea compuesto por distintos módulos, éste en concreto permite la clasificación de piezas dentarias de animales procedentes de yacimientos arqueológicos.

El sistema se encuentra aún en fase de prototipo, puesto que el paso de una maqueta al producto final requiere, especialmente en este caso dada su amplitud, un largo proceso. Se ha atendido aquí a características fundamentales del conjunto estudiado y no a toda la variabilidad posible en estos casos. El volumen de datos que se maneja obliga a acotar el problema planteado. No puede construirse un S.E. que resuelva todos los casos, ni en éste ni en ningún otro campo, sería absurdo realizar un programa con el objeto de identificar cualquier cerámica artesanal, del mismo modo que sería absurdo pretender que un S.E. clasificase cualquier resto óseo.

En este caso resultaba especialmente compleja la elaboración del diagrama conceptual, huyendo de los esquemas taxonómicos, aquí tan claramente establecidos y conocidos; pero también es cierto que los objetos que presentan una intencionalidad humana en su aspecto, no escapan a estos problemas, si bien en ellos los mayores conflictos vienen de una taxonomía mucho menos conocida y especialmente de la amplitud.

Por estos motivos las acotaciones en dichos casos deben atender a conceptos cronológicos, geográficos, materiales, etc. Y aún así hay que tener muy presente que en las etapas culturales que estudiamos, no encontraremos dos objetos iguales (una raedera no es igual a otra, como tampoco lo es un hueso a otro), pero además de esto, la "genialidad" u "originalidad" humana es un factor que siempre puede ofrecernos un nuevo elemento distinto a cuantos hallamos catalogado con anterioridad. Solo los objetos industriales son realmente similares entre sí. Pese a estos problemas, existen siempre criterios de identificación en los distintos campos, la atención al mayor número posible de ellos nos permitirá una mejor aproximación a la realidad del pasado, nunca la "realidad", pero hemos de tener presente que un volumen demasiado grande de reglas hace que cualquier sistema sea inoperante.

Por todo lo dicho, es preciso destacar la necesidad de subdividir el sistema de identificación en módulos para lograr una optimización de las búsquedas. El acceso a los distintos módulos puede realizarse mediante menús encadenados, resolviendo primeramente la identificación anatómica para automáticamente pasar al módulo específico.

Dentro ya de cada módulo, el diagrama conceptual presenta distintos niveles, en el primero de ellos se llegaría a una meta parcial que hemos llamado GRUPO como nombre de variable; a su vez esta variable funcionaría como factor determinante, junto a otros para llegar a una segunda meta parcial llamada SUBGRUPO, que a su vez y en unión de otros nuevos factores dará lugar a un tercer nivel cuya variable meta es FAMILIA. El proceso se repite hasta llegar al objetivo o meta final en que encontramos la ESPECIE. El programa permite en caso de no poder determinar un último nivel, ofrecer la información más avanzada de la cadena, a la que se ha podido llegar con el resto que se analiza; igualmente se ofrece una explicación del motivo que se le da a dicha determinación.

Un factor o una regla pueden en ocasiones determinar un caso por si solos; pero las distintas reglas de un paso permiten atender a distintos caracteres diagnósticos según sea la fragmenta-

ción. Ello no es un problema para el programa ya que si se determina una vía se considera innecesario seguir consultando sobre factores que ofrecerían una misma solución; si por el contrario la primera pregunta se desconoce, el programa preguntará al usuario nuevas posibilidades.

La búsqueda de soluciones se realiza mediante encadenamiento hacia atrás, pudiendo seguirse el proceso de disparo de las distintas reglas. La parte fundamental de todos estos programas la constituye la tabla de reglas; pero la herramienta empleada posee así mismo otros bloques que nos permiten localizar las variables utilizadas e inicializarlas, ordenar las distintas llamadas a procedimientos y pantallas gráficas, crear bucles de acción, consultar bases de datos, utilizar hojas electrónicas, emitir informes, etc.

Nos hemos centrado en nuestro módulo en el estudio de los macromamíferos más frecuentes en los yacimientos peninsulares de la Edad del Bronce y únicamente en individuos adultos. Se eligieron las piezas dentarias para realizar el programa piloto por ser los restos que presentan una mayor diversidad en los parámetros observables y por tanto unas características más fácilmente convertibles en reglas de producción.

Siguiendo el esquema expuesto más arriba, podemos decir que en este caso la Base de Hechos estará formada por datos como: "carnívoro", "secodonto", "corona", etc. El motor de inferencias gestiona la Base de conocimientos. Esta, está constituida por una serie de reglas que nos relacionan las características observables del diente con el grupo, familia, género, etc. que presentan ese conjunto de características.

Las interfases con el usuario ofrecen resultados o muestran las preguntas que deben irse respondiendo para guiar al programa desde los grupos más generales a la máxima especificación de la que éste es capaz. De acuerdo con las respuestas previas el programa puede ir centrando la solución del problema de manera que en algunos casos se podrá llegar a la solución final con un número reducido de cuestiones, mientras que en otros es necesario un proceso más largo. La gran ventaja de estos sistemas consiste en evitar un número innecesario de preguntas, ya que al dar una respuesta el programa nos lleva hacia el siguiente paso descartando todas aquellas posibilidades que contradicen los datos anteriores.

El problema que ofrecen los interfases en modo texto en este caso, es el de la difícil explicación de determinados conceptos mediante palabras concretas, por ello actualmente lo estamos sustituyendo por un interfase más complejo que proporcionará un entorno gráfico y un sistema de ayudas que hacen más fácil la utilización del programa. Este entorno gráfico ofrecerá dos ventajas:

- una mayor facilidad a la hora de interpretar las preguntas planteadas por el sistema, al venir estas apoyadas por una imagen.
- una posibilidad de introducción de los parámetros por medio de imagen digitalizada de la pieza a estudiar.

Esto supone dos sistemas, uno para la entrada de datos y otro para la presentación de figuras-guía. El primero seguiría los métodos empleados en otros programas, como el utilizado para las cerámicas (Sánchez Meseguer, (*) J. *et alii*, 1990). Pero en este caso las dificultades son mucho mayores ya que se trata de figuras necesariamente tridimensionales. El segundo obliga a elegir muy cuidadosamente o modificar la herramienta de programación.

Un S.E. no puede superar a un experto en la materia, ya que los conocimientos a fin de cuentas parten siempre de ese experto humano; pero pueden ser una herramienta valiosa para el

(*).- Agradecemos al Dr. J. Sánchez Meseguer y al Dr. A. Morales Muñiz nuestra introducción en estos campos.

tratamiento de datos arqueológicos, al ser más claros, rápidos y fáciles de utilizar que los sistemas utilizados tradicionalmente para un proceso de diagnóstico, por lo que constituyen un magnifico medio de apoyo en este terreno. Somos conscientes de que el sistema propuesto como ejemplo de las aplicaciones prácticas de la I.A., es susceptible de muchas mejoras; no obstante pensamos que puede ser útil como punto de partida.

BIBLIOGRAFIA

- CONTRERAS, G. 1990: "Estado actual de los sistemas expertos" *PC World*, 51, 75-95.
- GARDIN, J. C. *et alii* 1987: *Systèmes experts et sciences humaines: le cas de l'archéologie*, Paris.
- GONZALEZ CRESPO, A.M; DE FRUTOS VAQUERIZO, J. y MAICAS RAMOS R. 1990: "Sistema Experto para Aplicaciones de Cerámicas Ferroeléctricas". *XXX Congreso Nacional de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, Santiago de Compostela.
- HILLSON, S. 1986: *Teeth*. Cambridge University Press
- LAVOCAT, R. (Ed.) 1966: *Faunes et flores préhistoriques de l'Europe Occidentale*, Paris.
- LARVET, P. 1986: "Système Expert pour Macintosh" *Micro-Systèmes*, Juin, 163-172.
- POULAIN, T. 1976: *L'Étude des ossements animaux et son apport à l'Archéologie*, Dijon.
- RAHTZ, S.P.Q. ed 1988: "Computer and quantitative methods in Archaeology" *B.A.R. International Series*, 446
- SANCHEZ MESEGUER, J. 1988: "Arxeos IV: un "experto" en economía de la Edad del Bronce" *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 11-12, 107-116.
- ... 1988: "Sistemas expertos" en arqueología: valoración de las hipótesis" *Espacio, tiempo y forma, serie I*, tomo I, 491-505.
- SANCHEZ MESEGUER, J.; GARCIA GALLO J.; ALEMANY ESTEBAN, C. Y GONZALEZ CRESPO, A.M. 1990: "Arqueometría: cerámicas, arqueología e informática" *XXX Congreso Nacional de Cerámica y Vidrio*.
- SCHMID, E. 1972: *Atlas of animal bones for prehistorians, archaeologist and Quaternary geologist*, Amsterdam.
- VANDEGINSTE, P. 1987: "Las aplicaciones de los sistemas expertos", *Mundo científico*, 65, 50-68.
- WALTZ, D. L. 1982: "Inteligencia artificial", *Investigación y ciencia*, 75, 48-62.