

# III

**TOMA DE DECISIONES, MÉTODOS DE  
OPTIMIZACIÓN, METAHEURÍSTICAS  
APLICADAS A LA INGENIERÍA**



## Caracterización de las empresas de alta tecnología a partir de indicadores de actividad de i+d

ÁNGEL COBO ORTEGA<sup>1</sup>, ROCÍO ROCHA BLANCO<sup>1</sup> Y MARCO VILLAMIZAR ARAQUE<sup>2</sup>

### RESUMEN

Este trabajo busca la identificación de aquellos rasgos característicos de la actividad en I+D de las empresas que permitan diferenciar empresas de sectores de alta o media-alta tecnología de aquellas que pertenecen a otros sectores con una menor componente tecnológica. Se toma como punto de partida los datos de 1869 empresas españolas recogidos en la Encuesta Sobre Estrategias Empresariales (ESEE) del año 2012 de la Fundación SEPI (Sociedad Estatal de Participación Industrial). En concreto se cuenta con 44 variables categóricas asociadas a la actividad de I+D y en el trabajo se utiliza técnicas de selección de atributos para extraer un subconjunto de variables que caractericen a las empresas de alta tecnología. También se hace uso de diferentes técnicas de minería de datos para extraer conocimiento a partir de la información recogida en la encuesta. Específicamente se ha identificado grupos de empresas utilizando técnicas de *clustering* y obteniendo reglas de asociación entre los atributos.

**Palabras clave:** I+D; innovación; alta y media alta tecnología; minería de datos.

### ABSTRACT

This paper seeks to identify those features of the activity in R&D of companies that differentiate companies in sectors of high or medium-high technology of those belonging to other sectors with a lower technological component. The study uses Spanish data from 1869 companies listed in the 2012 Survey of Business Strategies (ESEE) of the Spanish SEPI (State Society of Industrial Participation). In particular, the dataset has 44 categorical variables associated with R&D and attribute selection techniques are used to extract a subset of variables that characterize high-tech companies. Additional data mining techniques are also used to extract knowledge from information collected in the survey. Specifically we have identified groups of companies using clustering techniques and obtained association rules between attributes.

**Keywords:** R&D; innovation; high and medium high technology; data mining.

<sup>1</sup> Universidad de Cantabria, Santander, España.

<sup>2</sup> Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

### ACTIVIDADES DE I+D E INNOVACIÓN

La innovación tiene un claro impacto sobre los resultados de las empresas, pudiendo tener su efecto sobre las ventas y la cuota de mercados, pero también sobre la mejora de la productividad y la eficiencia. Aunque una gran parte de las actividades de innovación no se basa en la investigación y desarrollo, la I+D desempeña un papel crucial en el proceso de innovación. Un objetivo importante consiste en entender el papel de la I+D en el proceso de innovación y en determinar de qué manera se articula con los otros insumos de la innovación [1]. Por otro lado, las actividades innovadoras de una empresa dependen en parte de la variedad y estructura de sus vínculos con las fuentes de información, del conocimiento, de las tecnologías, de las buenas prácticas y de los recursos humanos y financieros.

En países donde la estructura empresarial de base está configurada por las PYMEs de sectores de tecnología media y media-baja, como es el caso de España, las estadísticas expresan la baja incidencia que tiene la innovación tecnológica [2] y solo unas pocas empresas basan su competitividad en la innovación y la tecnología. El Instituto de Estudios Fiscales [3] afirma que: en España, las empresas están especializadas en la producción de baja tecnología así como en servicios que no requieren un alto nivel de conocimientos. Esta circunstancia ha propiciado que los sectores con un elevado valor añadido, como son la producción de alta tecnología y los servicios que requieren una preparación más exigente, no hayan experimentado el empuje deseado todavía.

La innovación se puede ver como la introducción de un nuevo producto, o significativamente mejorado, y puede ser definida de manera más restrictiva (innovación tecnológica) como la introducción de un bien, servicio o proceso exitosamente en un mercado [1]. La innovación abarca un cierto número de actividades no incluidas en I+D, tales como las últimas fases del desarrollo de preproducción, la producción y distribución, las actividades de desarrollo con un bajo grado de novedad, las actividades de apoyo tales como preparaciones de formación y de comercialización, y actividades de desarrollo y de introducción para innovaciones que no son de producto o de proceso, tales como nuevos métodos de comercialización o nuevos métodos organizativos. Las actividades de innovación pueden también incluir las adquisiciones de conocimiento externo o de bienes de capital que no son parte de la I+D [1].

En torno a la innovación en la empresa, se identifica una serie de aspectos clave. En primer lugar, la relación entre innovación tecnológica y competitividad empresarial, depende del grado en que las empresas incorporan las nuevas tecnologías en sus procesos y productos [2]. También es importante considerar la capacidad de las

organizaciones para asignar recursos a la realización de actividades orientadas a la generación y difusión de conocimiento, apoyando las innovaciones que son la base del desarrollo económico [4], o el propio tamaño de las empresas, siendo normalmente las grandes empresas las que juegan un papel crucial en el proceso de innovación. Por otro lado, la intensa competencia fomenta la innovación, pero la rivalidad excesiva desalienta el cambio y la innovación [5].

Junto con la innovación, la I+D es usada como una medida del progreso de un sector industrial [6]. Se encarga de identificar, asimilar y absorber el conocimiento externo disponible, mediante un área o departamento de la empresa [7]; y es un mecanismo de cooperación para desarrollar innovación en producto y complementario a la innovación en proceso [8]. De manera complementaria, frente a un mayor nivel de I+D, se alcanza la introducción de nuevos procesos, de nuevos productos o mejoras, obteniendo como consecuencia el aumento de productividad [9].

#### EL SECTOR EMPRESARIAL DE ALTA TECNOLOGÍA

El sector de alta tecnología se caracteriza por una rápida renovación de conocimientos, muy superior a otras tecnologías [10]. Dentro de este sector se podría encuadrar una serie de subsectores manufactureros que serán los que se analizarán en este trabajo. En concreto, el Instituto Nacional de Estadística de España define como sectores de alta y media-alta tecnología a los que se muestran en la tabla 1. Dentro de ellos, los sectores y productos que constituyen la denominada alta tecnología se pueden definir, genéricamente, como aquellos que, dado su grado de complejidad, requieren un continuo esfuerzo en investigación y una sólida base tecnológica [10]. Por otra parte, diversos estudios han establecido que las empresas de sectores de alta tecnología se caracterizan por operar bajo una serie de características internas determinadas por ambientes altamente cambiantes y competitivos [11, 12, 13, 14].

Tabla 1. Sectores manufactureros tecnológicos. Fuente: INE

CNAE 2009	<b>Sectores manufactureros de tecnología alta</b>
21	Fabricación de productos farmacéuticos
26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos
30.3	Construcción aeronáutica y espacial y su maquinaria
CNAE 2009	<b>Sectores manufactureros de tecnología media-alta</b>
20	Industria química
25.4	Fabricación de armas y municiones
27 a 29	Fabricación de material y equipo eléctrico; Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.; Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques
30, 30.1, 30.3	Fabricación de otro material de transporte excepto: construcción naval; construcción aeronáutica y espacial y su maquinaria.
32.5	Fabricación de instrumentos y suministros médicos y odontológicos

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Uno de los métodos más útiles para medir la competitividad de un país es el análisis de su comercio exterior de productos de alta tecnología. Cuanto mayor sea la tasa de cobertura en ese tipo de productos, mayor será la capacidad del país para comercializar internacionalmente los resultados de su investigación e innovación tecnológica en forma de productos de alto valor añadido [15]. Por este motivo, el análisis de su evolución proporciona una buena medida del impacto económico de las actividades de I+D [16].

### **DETERMINANTES EN LAS ACTIVIDADES DE I+D E INNOVACIÓN EN LAS EMPRESAS**

A partir de la revisión de la literatura sobre las actividades de I+D e Innovación en la empresa se han identificado a priori algunos aspectos determinantes de la misma, agrupados bajo los siguientes conceptos:

- (i) Producto y proceso
- (ii) Capacidades, métodos organizativos y gestión organizacional
- (iii) Inversión, incentivos y financiación
- (iv) Desbordamiento tecnológico, adopción, apropiación, difusión, aprendizaje, conocimiento
- (v) Otras actividades innovadoras
- (vi) Sistemas de innovación
- (vii) Tecnología
- (viii) Actividades, Financiación y Personal de I+D

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En [17] puede encontrarse una justificación detallada de los aspectos concretos que se incluyen en cada concepto y referencias que justifican su utilización a la hora de medir la actividad de I+D e innovación de las empresas.

Buscando indicadores que permitan evaluar cada uno de los aspectos determinantes, se recurrió a la Encuesta Sobre Estrategias Empresariales (ESEE) del año 2012 de la Fundación SEPI (Sociedad Estatal de Participación Industrial) de España. Esa encuesta se traduce en un listado de más de 700 variables de todo tipo (categóricas, binarias, numéricas,...) que a su vez se agrupan en varios apartados:

- Actividad, productos y procesos de fabricación
- Actividades tecnológicas
- Activo Circulante
- Clientes y proveedores
- Comercio exterior

- Costes y precios
- Datos del activo del balance y relacionados
- Datos del pasivo del balance y relacionados
- Empleo
- Identificadores
- Inversiones
- Mercados
- Productividad y costes por ocupado
- Resumen de partidas de la cuenta de explotación
- Variables de capital

Tomando como referencia los análisis realizados en [17], de esas más de 700 variables disponibles se seleccionaron 44 variables que guardan una vinculación más directa con la I+D y la innovación. En concreto las variables seleccionadas son las que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Relaciones identificadas en torno a la I+D e Innovación Tecnológica y las variables de estudio asociadas

ASPECTO	SELECCIÓN DE VARIABLES DE LA ESEE (Identificador, Nombre)
Producto/ Proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>IPNF</b>, innovación producto por nuevas funciones</li> <li>• <b>IPNC</b>, innovación producto por nuevos componentes</li> <li>• <b>IPNM</b>, innovación producto por nuevos materiales</li> <li>• <b>IPRTM</b>, innovaciones de proceso por nuevas técnicas</li> <li>• <b>IPRME</b>, innovaciones de proceso por nuevos equipos</li> <li>• <b>IPRPI</b>, innovaciones de proceso por programas informáticos</li> <li>• <b>IPR</b>, obtención innovaciones de proceso</li> <li>• <b>IP</b>, obtención innovaciones de producto</li> <li>• <b>SPR</b>, subcontratación productos o componentes</li> </ul>
Capacidades / Métodos Organizativos / Gestión organizac.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>NACECLIO</b>, actividad</li> <li>• <b>TEMPR2</b>, tamaño de la empresa (intervalos de tamaño)</li> <li>• <b>DCT</b>, dirección o comité de tecnología</li> <li>• <b>IMO</b>, innovaciones de métodos organizativos</li> <li>• <b>IMOGE</b>, innovaciones en la gestión de las relaciones externas</li> <li>• <b>IMOPE</b>, innovaciones en la organización del trabajo</li> <li>• <b>ICODIS</b>, innovaciones de comercialización por diseño</li> <li>• <b>ICOPRO</b>, innovaciones de comercialización por promoción</li> </ul>
Inversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>BSFE</b>, buscar sin éxito financiación externa de la</li> </ul>

/ Incentivos / Financia ción	innovación <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>FICS</b>, financiación de la innovación con créditos y subvenciones</li> <li>• <b>APLIFN</b>, aplicar incentivos fiscales I+D</li> </ul>
Desbord. Tecnológi co/ Adopción /Apropia ción / Difusión / Conoci miento /Aprendi zaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>UAIT</b>, utilización de asesores para informarse sobre tecnología</li> </ul>
Otras activida des innovado ras / Activida des Tecnológi cas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ESFTEC1</b>, esfuerzo tecnológico</li> <li>• <b>ETAE</b>, evaluación de tecnologías alternativas</li> <li>• <b>IRI</b>, indicadores de resultados de la innovación</li> <li>• <b>PEIT</b>, participación en empresas con innovación tecnológica</li> <li>• <b>PIUE</b>, participación programa investigación de UE</li> <li>• <b>PATEXT</b>, patentes registradas en el extranjero</li> <li>• <b>PATESP</b>, patentes registradas en España</li> <li>• <b>PAI</b>, plan de actividades de innovación</li> </ul>
Sistemas de Innova ción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CUCT</b>, colaboración con universidades y/o c. tecnológicos</li> <li>• <b>CTCO</b>, colaboración tecnológica con competidores</li> </ul>
Tecnolo gía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>EPCT</b>, evaluación perspectivas cambio tecnológico</li> </ul>
Activida des de I+D/ Gastos de I+D/ Financiación de I+D/ Personal de I+D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>REEID</b>, reclutar personal. experiencia empresarial I+D</li> <li>• <b>REPID</b>, reclutar personal. experiencia prof. s.p. I+D</li> <li>• <b>AID</b>, actividades de I+D</li> <li>• <b>ACT</b>, acuerdos de cooperación tecnológica</li> <li>• <b>ADBEM</b>, adquisición de bienes de equipo para mejora de productos</li> <li>• <b>FPIDCA</b>, financiación pública I+D autonomías</li> <li>• <b>FPIDES</b>, financiación pública I+D estado</li> <li>• <b>FPIDOT</b>, financiación pública I+D otros</li> <li>• <b>GTID</b> gastos totales I+D</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MINERÍA DE DATOS

La minería de datos engloba a una serie de técnicas cuyo objetivo fundamental es la generación de conocimiento a partir de los datos. Se trata en definitiva, de descubrir relaciones ocultas en los datos mediante técnicas cuantitativas, y ofrecer información y nuevo conocimiento que pueda ser utilizado en los procesos de toma de decisiones. Witten y Frank (2005) afirman que estas técnicas han demostrado ser muy útiles en la obtención de información y generación de conocimiento, dado que permiten la evaluación automática o semiautomática de grandes volúmenes de datos. Además permiten la identificación de patrones comportamentales, tendencias y relaciones, proporcionando así una mejor visión de negocio.

Todo proceso de minería de datos pasa por cuatro etapas: i) determinación de objetivos y obtención de los datos a procesar, ii) pre-procesamiento, iii) aplicación de técnicas de explotación de datos, iv) análisis y evaluación de resultados [18]. En las próximas secciones se indica las acciones realizadas en el contexto de este trabajo tomando como referencia esas 4 etapas básicas.

### Determinación de objetivos y obtención de datos

El objetivo principal del trabajo es tratar de identificar diferencias existentes o no entre empresas de los sectores de alta y media-alta tecnología, y otras empresas de sectores tradicionales, específicamente de manufactura. Para ello es preciso contar con una muestra de empresas lo suficientemente significativa. En este caso se optó por analizar los valores de las 44 variables señaladas en la tabla 2 sobre un total de 1869 empresas manufactureras presentes en la Encuesta Sobre Estrategias Empresariales (ESEE) del año 2012 de la Fundación SEPI (Sociedad Estatal de Participación Industrial). En concreto, las 1869 empresas pertenecen a los sectores siguientes:

- a) Industria cárnica
- b) Productos alimenticios y tabaco
- c) Bebidas
- d) Textiles y confección
- e) Cuero y calzado
- f) Industria de la madera
- g) Industria del papel
- h) Artes gráficas
- i) Industria química y productos farmacéuticos
- j) Productos de caucho y plástico
- k) Productos minerales no metálicos
- l) Metales férreos y no férreos
- m) Productos metálicos
- n) Máquinas agrícolas e industriales

Caracterización de las empresas de alta tecnología

- o) Productos informáticos, electrónicos y ópticos
- p) Maquinaria y material eléctrico
- q) Vehículos de motor
- r) Otro material de transporte
- s) Industria del mueble
- t) Otras industrias manufactureras

Según la clasificación CENAE-2009, los sectores de alta y media-alta tecnología incluidos en el estudio son:

- i) Industria química y productos farmacéuticos (CENAE 21)
- o) Productos informáticos, electrónicos y ópticos (CENAE 26)
- p) Maquinaria y material eléctrico (CENAE 27)
- q) Vehículos de motor (CENAE 29)

Por esa razón, a los datos de la muestra se les añadió una última variable categórica que indicaba si la correspondiente empresa pertenece o no a un sector de alta o media-alta tecnología. Un total de 329 empresas de la muestra de 1869, distribuidas tal como muestra la tabla 3, están asociadas a esos sectores y como tal fueron consideradas empresas de alta o media-alta tecnología.

Tabla 3. Número de empresas de alta o media-alta tecnología en la muestra

<i>Sector</i>	<i>Nº empresas</i>
Industria química y productos farmacéuticos (CENAE 21)	137
Productos informáticos, electrónicos y ópticos (CENAE 26)	31
Maquinaria y material eléctrico (CENAE 27)	74
Vehículos de motor (CENAE 29)	87

### Preprocesamiento

Con el objeto de poder aplicar técnicas de minería de datos usando el software *Weka*, se generó un archivo ARFF con los datos de las 1869 empresas y 44 atributos para cada una de ellas. Teniendo en cuenta que la variable que indica el sector de actividad de la empresa (NACECLIO) determina si la empresa se considera o no como de alta tecnología (figura 1), esa variable se suprimió y fue sustituida por una última variable binaria que indica si la empresa es de alta tecnología. Para los análisis también se prescindió del atributo identificativo de la empresa.

A fin de poder interpretar posteriormente mejor los resultados obtenidos, se realizó un proceso de transformación de los datos sustituyendo los valores numéricos que identificaban a las variables categóricas por expresiones literales descriptivas de cada valor. Los valores numéricos de algunos atributos fueron también discretizados para trabajar con todas las variables de tipo categórico.

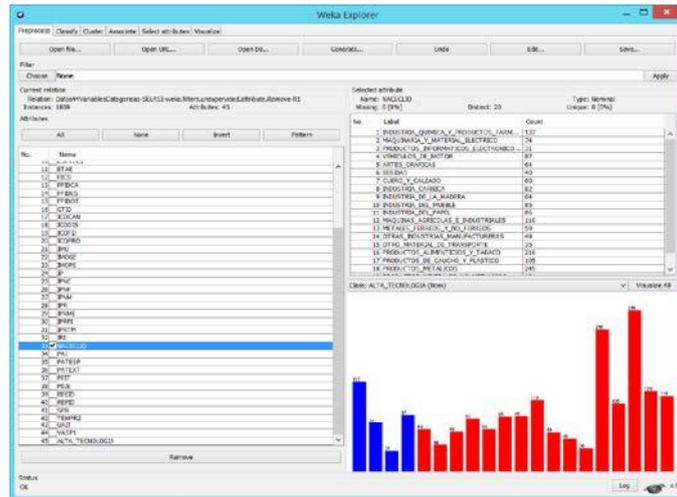


Figura 1. Clasificación de los sectores según su consideración como alta tecnología

#### Aplicación de técnicas de explotación de datos

La primera de las técnicas que se aplicó sobre los datos fue la de selección de atributos. La idea es poder determinar si existe un subconjunto con un menor número de atributos y que pueda ser utilizado para discriminar adecuadamente si las empresas son realmente de alta tecnología.

Existe una gran variedad de técnicas de selección de atributos, en este caso se utilizó el método *CfsSubsetEval* implementado en *Weka* y que prioriza la búsqueda de subconjuntos de atributos altamente correlacionados con la variable de clasificación y con poca correlación entre ellos [19]. En este caso, *Weka* realizó un total de 353 evaluaciones de subconjuntos de atributos para finalmente determinar un subconjunto de solamente 4 variables para clasificar si una empresa es o no de alta tecnología:

$$\{APLIFN, DCT, ESFTEC1, GTID\}$$

Estas variables corresponden a dos variables binarias que establecen si la empresa aplica o no los incentivos fiscales para I+D (APLIFN), si mantuvo o no una dirección o comité de tecnología o I+D (DCT), a una variable categorial que indica los intervalos en que se sitúa el porcentaje que los gastos totales en I+D realizados

por la empresa representan sobre el total de gastos en I+D y las importaciones de tecnología (ESFTEC1), y finalmente la variable que considera el total de gastos en actividades de I+D (GTID).

La segunda de las técnicas de minería de datos que se aplicó fue la de generación de árboles de decisión. En este caso se trata de establecer de manera automática condiciones sobre los atributos que permitan realmente clasificar a las empresas. El algoritmo que se utilizó es el J48 [20] también implementado en *Weka*.

En este caso se optó por generar dos árboles, en uno de ellos se consideraron únicamente las 4 variables seleccionadas por el método anterior más la variable de clasificación, mientras que en el otro se tomó el conjunto completo de atributos.

En el primer caso, el árbol generado resultó muy simple (figura 2), ya que únicamente consideraba el nivel de la variable de gastos totales en I+D (GTID), clasificando como empresas de alta tecnología a aquellas con valor alto para esta variable. Este árbol tan simple clasifica correctamente el 82,9% de las empresas de la muestra.

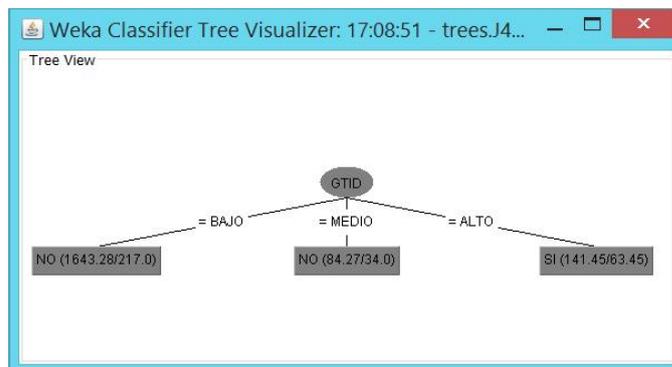


Figura 2. Árbol de decisión para la clasificación de empresas de alta tecnología a partir de solo 4 atributos

En concreto, los parámetros de calidad devueltos por *Weka* para esta clasificación son:

<i>Correctly Classified Instances</i>	1551	82.9856 %
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	318	17.0144 %
<i>Kappa statistic</i>		0.2481
<i>Mean absolute error</i>		0.2618
<i>Root mean squared error</i>		0.3627
<i>Relative absolute error</i>		90.1753 %
<i>Root relative squared error</i>		95.2225 %

En el segundo caso, considerando todos los atributos, se obtiene un árbol de decisión un poco más complejo pero con una calidad de clasificación similar. El árbol obtenido puede verse en la figura 3 y en él intervienen los atributos GTID, IPR, PEIT, ADBEM e IPNC.

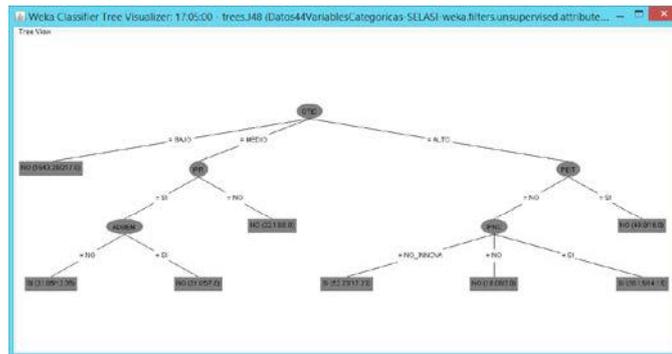


Figura 3. Árbol de decisión para la clasificación de empresas de alta tecnología considerando todos los atributos

Los indicadores de calidad de este árbol son:

<i>Correctly Classified Instances</i>	1545	82.6645 %
<i>Incorrectly Classified Instances</i>	324	17.3355 %
<i>Kappa statistic</i>		0.2172
<i>Mean absolute error</i>		0.2612
<i>Root mean squared error</i>	0.3653	
<i>Relative absolute error</i>		89.9686 %
<i>Root relative squared error</i>		95.9187 %

Como puede verse son valores muy parecidos a los correspondientes al árbol de decisión que hace uso únicamente del atributo GTID.

En este segundo árbol aparecen 4 atributos nuevos que no estaban entre los seleccionados previamente y que parece que tienen interés a la hora de identificar si una empresa es de alta tecnología. En concreto, se trata de 4 variables binarias que indican si la empresa ha obtenido innovaciones de proceso en el ejercicio (IPR), si participó en empresas que desarrollan innovación tecnológica (PEIT), si ha adquirido bienes de equipo para la mejora de productos (ADBEM) y si la innovación de producto se debe a la incorporación de nuevos componentes o productos intermedios (IPNC).

Este segundo árbol clasificaría como empresas de alta tecnología a aquellas que tienen un gasto en I+D medio pero que sí han obtenido innovaciones tecnológicas aunque no han adquirido bienes de equipo para la mejora de productos. También se considerarían de alta tecnología empresas con gastos en I+D altos aunque no

participan en otras empresas que desarrollan innovación pero sí que incorporan nuevos componentes o productos intermedios en la innovación de productos.

La tercera técnica de minería de datos que fue aplicada es la generación de reglas de asociación. Parece claro que entre las variables o atributos presentes en la muestra hay reglas que relacionan sus valores, algunas reglas pueden resultar obvias pero otras pueden estar más ocultas, y ese es precisamente el objetivo de aplicar un algoritmo de búsqueda de reglas de asociación, descubrir relaciones ocultas en los datos.

En este caso se utilizó como algoritmo el *Apriori* implementado en *Weka* [21, 22]. A este algoritmo hay que indicarle, entre otras cosas, un soporte mínimo para las reglas, es decir, el número mínimo de objetos en la muestra en la que la regla se cumple, un número máximo de reglas a generar, y una confianza mínima, o lo que es lo mismo, un error máximo que se produciría al dar como cierta la regla con carácter general. Para la obtención de las reglas se fijó un soporte mínimo del 10% de las empresas de la muestra y una confianza mínima del 0.9.

En la primera de las ejecuciones del algoritmo *Apriori* se trabajó únicamente con 8 variables, las seleccionadas por el método de selección de atributos y las que participaban en el árbol de decisión completo, más la variable de clasificación (ALTA\_TECNOLOGIA). Las 100 mejores reglas obtenidas tuvieron un soporte de al menos un 0.65, es decir, 1215 empresas en las que se cumplían. Las 10 mejores reglas encontradas fueron:

1. *APLIFN=NO DCT=NO GTID=BAJO IPNC=NO\_INNOVA 1238 ==> PEIT=NO 1226 conf:(0.99)*
2. *APLIFN=NO DCT=NO IPNC=NO\_INNOVA 1253 ==> PEIT=NO 1240 conf:(0.99)*
3. *APLIFN=NO DCT=NO IPNC=NO\_INNOVA PEIT=NO 1240 ==> GTID=BAJO 1226 conf:(0.99)*
4. *APLIFN=NO DCT=NO IPNC=NO\_INNOVA 1253 ==> GTID=BAJO 1238 conf:(0.99)*
5. *APLIFN=NO DCT=NO GTID=BAJO 1313 ==> PEIT=NO 1297 conf:(0.99)*
6. *APLIFN=NO DCT=NO PEIT=NO 1315 ==> GTID=BAJO 1297 conf:(0.99)*
7. *DCT=NO GTID=BAJO IPNC=NO\_INNOVA 1303 ==> PEIT=NO 1285 conf:(0.99)*
8. *APLIFN=NO DCT=NO 1334 ==> PEIT=NO 1315 conf:(0.99)*
9. *DCT=NO IPNC=NO\_INNOVA 1328 ==> PEIT=NO 1309 conf:(0.99)*
10. *ADBEM=NO DCT=NO GTID=BAJO 1258 ==> PEIT=NO 1240 conf:(0.99)*

Puede ser interesante analizar aquellas reglas entre las 50 mejores en las que intervenía la variable de clasificación. De nuevo se observa que esas reglas permiten

identificar características de las empresas que no pueden ser consideradas de alta tecnología:

- 11. *DCT=NO PEIT=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1249 ==> GTID=BAJO 1230 conf:(0.98)*
- 13. *DCT=NO GTID=BAJO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1250 ==> PEIT=NO 1230 conf:(0.98)*
- 17. *DCT=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1272 ==> GTID=BAJO 1250 conf:(0.98)*
- 20. *DCT=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1272 ==> PEIT=NO 1249 conf:(0.98)*
- 25. *GTID=BAJO IPNC=NO\_INNOVA ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1254 ==> PEIT=NO 1228 conf:(0.98)*
- 30. *APLIFN=NO GTID=BAJO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1285 ==> PEIT=NO 1256 conf:(0.98)*
- 33. *ADBEM=NO GTID=BAJO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1247 ==> PEIT=NO 1216 conf:(0.98)*
- 39. *IPNC=NO\_INNOVA ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1311 ==> PEIT=NO 1274 conf:(0.97)*
- 40. *GTID=BAJO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1421 ==> PEIT=NO 1380 conf:(0.97)*
- 43. *APLIFN=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1341 ==> PEIT=NO 1299 conf:(0.97)*
- 46. *DCT=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1272 ==> GTID=BAJO PEIT=NO 1230 conf:(0.97)*
- 47. *APLIFN=NO PEIT=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1299 ==> GTID=BAJO 1256 conf:(0.97)*
- 48. *ADBEM=NO ALTA\_TECNOLOGIA=NO 1317 ==> PEIT=NO 1272 conf:(0.97)*

En la segunda de las ejecuciones del algoritmo se optó por trabajar con el conjunto completo de atributos, pidiendo al algoritmo que buscara un total de 3000 reglas pero de las que únicamente se seleccionaron aquellas reglas simples en las que intervenía un solo atributo en la premisa y un solo atributo en la conclusión. En este caso las reglas generadas fueron:

- FPIDOT=NO 1812 ==> PIUE=NO 1811 conf:(1)*
- GTID=BAJO 1638 ==> PIUE=NO 1629 conf:(0.99)*
- FPIDCA=NO 1764 ==> PIUE=NO 1754 conf:(0.99)*
- IPRPI=NO 1615 ==> PIUE=NO 1605 conf:(0.99)*
- FPIDES=NO 1720 ==> PIUE=NO 1709 conf:(0.99)*
- FICS=NO 1682 ==> PIUE=NO 1671 conf:(0.99)*
- IMOGE=NO 1671 ==> PIUE=NO 1659 conf:(0.99)*
- GTID=BAJO 1638 ==> REPID=NO 1626 conf:(0.99)*

*FICS=NO 1682 ==> REPID=NO 1669 conf:(0.99)*  
*PEIT=NO 1763 ==> PIUE=NO 1749 conf:(0.99)*  
*REEID=NO 1777 ==> REPID=NO 1762 conf:(0.99)*  
*PATESP=NO 1791 ==> PATEXT=NO 1775 conf:(0.99)*

Como puede apreciarse, la mayor parte de estas reglas relacionan la no participación en programas de investigación de la UE (PIUE) con la ausencia de financiación pública estatal (FPIDES) autonómica (FPIDCA) o de otras instituciones (FPIDOT), con la falta de financiación de la innovación (FICS) o de innovaciones en la gestión de las relaciones externas (IMOGÉ), o con gastos en I+D bajos. También hay algunas reglas que parecen vincular la no contratación de personal con experiencia profesional en el sistema público de I+D (REPID), con la no contratación de personal con experiencia en I+D (REEID), con gastos en I+D bajos, o con la no financiación de la innovación con créditos subvencionados (FICS). La última regla que se muestra establece que aquellas empresas que no patentan en España (PATESP) tampoco lo hacen en el exterior (PATEXT).

Finalmente, la última técnica de minería de datos que fue aplicada sobre los datos de la encuesta fue la de *clustering*, también conocida como clasificación no supervisada. En este caso se trataba de buscar grupos de empresas relacionadas a partir de los valores de los atributos. Existe una gran variedad de algoritmos de *clustering*, de todos ellos se eligieron dos de los que se encuentran implementados en *Weka*: el algoritmo EM y el de las k-medias. La ventaja del primero es que puede calcular el número de grupos de manera automática, mientras que el segundo destaca por su sencillez y rapidez pero exige determinar de antemano el número de grupos a crear. El algoritmo EM asigna a cada instancia una distribución de probabilidad que indica la probabilidad de pertenencia a cada cluster. La elección del número de clusters se realiza mediante una validación cruzada, aunque también se puede dar un número prefijado. En el caso del algoritmo de las k-medias, se selecciona aleatoriamente k centroides para cada cluster y de manera iterativa se va asignando las instancias a los clusters con centroides más cercanos, se actualizan las posiciones de los centroides y se repite el proceso hasta que no sean necesarias más recolocaciones de instancias.

Se aplicaron ambos algoritmos de *clustering* considerando únicamente las 8 variables seleccionadas previamente (ADBEM, APLIFN, DCT, ESFTEC1, GTID, IPNC, IPR, PEIT) y tomando la variable de clasificación únicamente para evaluar los grupos creados. En primer lugar se aplicó el algoritmo EM solicitándole que generara el número de grupos de forma automática. En concreto, fueron creados 5 grupos, uno de ellos, el más numeroso, con el 55% de empresas de la muestra fue identificado como el grupo de empresas que no pertenecían al sector de alta tecnología. El grupo que el algoritmo asoció a las empresas de alta tecnología estaba compuesto por un 8% de las empresas. Además de esos dos grupos se generaron otros tres con un 14, 11 y 11% de las empresas, y que el algoritmo no pudo asociarles ninguna clase. Realmente el número de empresas que quedaron mal

clasificadas fue alto: un 45.4%. Si al algoritmo EM se le solicita que únicamente genere dos grupos, entonces clasificó las empresas en dos categorías, una con el 69% de la muestra y otra con el 31%, esta última fue la que el algoritmo asoció a las empresas de alta tecnología. El porcentaje de error en este caso fue sensiblemente menor: un 27.4%.

Posteriormente, se decidió contrastar la clasificación utilizando el algoritmo de las k-medias y solicitando la creación de dos grupos. El porcentaje de error en este caso fue menor: un 22.1%. Además, este algoritmo nos da información sobre los centroides, que pueden verse en este caso como prototipos que representan a las empresas de cada grupo. La tabla 4 muestra la información de los dos grupos de empresas obtenidos por el algoritmo. El cluster 0 fue vinculado por el algoritmo con las empresas que no son de alta ni media-alta tecnología, mientras que el cluster 1 representaba a esas empresas.

Tabla 4. Características de los dos grupos de empresas generados por el algoritmo de las k medias

<i>Características</i>	<i>Cluster 0</i>	<i>Cluster 1</i>
Número total de empresas	1500	369
Porcentaje	80%	20%
Valor atributo ADBEM	NO	NO
Valor atributo APLIFN	NO	SI
Valor atributo DCT	NO	SI
Valor atributo ESFTEC1	0	DE 0 A 1
Valor atributo GTID	BAJO	BAJO
Valor atributo IPNC	NO INNOVA	NO INNOVA
Valor atributo IPR	NO	SI
Valor atributo PEIT	NO	NO
Clasificación del grupo		

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos por los diferentes algoritmos parece claro que las empresas de sectores de alta o media-alta tecnología destacan del resto en aspectos relacionados con las actividades de I+D e innovación. En general, tienen niveles más altos de gastos en I+D, mantienen una dirección o comité de tecnología o I+D, aplican los incentivos fiscales para I+D e innovación tecnológica, tienen un mayor nivel de esfuerzo tecnológico y en general son empresas que han obtenido innovaciones de proceso en el ejercicio.

Como puede apreciarse, en las reglas de asociación obtenidas, las reglas hacen referencia a situaciones en las que los atributos relacionados con la innovación toman

valores bajos o no se aplican en las empresas de la muestra. Debe tenerse en cuenta, que son pocas las empresas realmente innovadoras que estaban reflejadas en la encuesta.

En general, las tasas de error al clasificar las empresas haciendo uso de los valores de las variables relacionadas con el I+D son satisfactorias.

## CONCLUSIONES

Este trabajo ha venido a demostrar cómo el uso de técnicas de minería de datos resulta útil para tratar de descubrir asociaciones o relaciones ocultas en los datos. En este caso se han usado para sistematizar el proceso de clasificación de empresas de alta y media-alta tecnología, tratando de identificar rasgos o características de estas empresas que las puedan diferenciar de otras de sectores con una componente tecnológica menor.

Los árboles de decisión generados son capaces de clasificar adecuadamente más del 82% de las empresas de acuerdo a la catalogación inicial en España de los sectores industriales de manufactura de alta y media-alta tecnologías según la CNAE-2009. Además es de destacar que para esa clasificación hacen uso de un número muy limitado de variables o indicadores.

Las reglas de asociación obtenidas, en general, identifican relaciones presentes en empresas en las que los indicadores relacionados con el I+D son bajos o nulos. En ese sentido las técnicas de *clustering* han resultado más útiles para identificar rasgos discriminantes de las empresas de carácter más tecnológico. Al igual que los árboles de decisión, la clasificación no supervisada o *clustering* también obtuvo buenos resultados, con tasas de acierto en torno al 80% de las empresas de la muestra.

En definitiva, los análisis realizados han tratado de ofrecer información relevante sobre los vínculos entre I+D e innovación tecnológica en la empresa, en el contexto nacional español. Además, permiten al empresario manufacturero y demás grupos de interés contar con información adicional para realimentar el direccionamiento estratégico y adecuar las estrategias de I+D e innovación. Los resultados obtenidos vienen a confirmar diferentes teorías y proposiciones manifiestas en la literatura especializada sobre los vínculos entre la I+D y la innovación. El estudio se ha realizado tomando como referencia una amplia muestra de empresas manufactureras españolas; algunos resultados podrían extrapolarse a otros contextos geográficos, pero en general sería necesario obtener nuevos datos de empresas que operen en otros mercados para poder generalizar las conclusiones.

## REFERENCIAS

- [1] OECD/Eurostat. 2007. *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. Ed Tragsa, doi:10.1787/9789264065659-es, Madrid.
- [2] FECYT. 2006. *Carencias y necesidades del Sistema Español de Ciencia y Tecnología. Recomendaciones para mejorar los procesos de transferencia de conocimiento y tecnología a las empresas*. Informe 2005. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), Madrid.
- [3] Instituto de Estudios Fiscales (IEF). 2012. *La evaluación ex-ante del Programa Operativo de Crecimiento Inteligente (POCInt)*. Consultado en: [http://www.dgfc.sggg.meh.es/sitios/dgfc/es-ES/ipr/fcp1420/p/Prog\\_Op\\_Plurirregionales/Documents/Eval\\_ex\\_ante\\_POCINT.pdf](http://www.dgfc.sggg.meh.es/sitios/dgfc/es-ES/ipr/fcp1420/p/Prog_Op_Plurirregionales/Documents/Eval_ex_ante_POCINT.pdf)
- [4] Buesa, M., Heijs, J., Martínez Pellitero, M., y Baumert, T. 2004. *Regional systems of innovation and the knowledge production function: the Spanish case*, *Technovation*, 26(4), 463–472, 2006. doi:10.1016/j.technovation.2004.11.007.
- [5] Segarra-Blasco, A., García-Quevedo, J., y Teruel-Carrizosa, M. 2008. *Barriers to innovation and public policy in Catalonia*. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 4(4), 431–451, 2008 doi:10.1007/s11365-008-0086-z.
- [6] Jamasb, T., y Pollitt, M. 2008. *Liberalisation and R&D in network industries: The case of the electricity industry*. *Research Policy*, 37(6-7), 995–1008. doi:10.1016/j.respol.2008.04.010.
- [7] Aldieri, L., y Cincera, M. 2009. *Geographic and technological R&D spillovers within the triad: micro evidence from US patents*. *The Journal of Technology Transfer*, 34(2), 196–211. doi:10.1007/s10961-007-9065-8.
- [8] Vega Jurado, J., Gutierrez Gracia, A., y Fernández De Lucio, I. 2010. *Generación y adquisición de conocimiento como estrategias de innovación*. En: L. Sanz Méndez & L. Cruz Castro (Eds.), *Análisis sobre ciencia e innovación en España* (pp. 417–443). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas – CSIC y FECYT. Consultado en: [http://icono.fecyt.es/informespublicaciones/Paginas/analisis\\_ciencia\\_innovacion\\_espana.aspx](http://icono.fecyt.es/informespublicaciones/Paginas/analisis_ciencia_innovacion_espana.aspx)
- [9] Cardamone, P. 2012. *A micro-econometric analysis of the role of R&D spillovers using a nonlinear translog specification*. *Journal of Productivity Analysis*, 37(1), 41–58. doi:10.1007/s11123-011-0225-3.
- [10] INE. 2011. *Indicadores del sector de alta tecnología. Año 2011. Resultados definitivos*. Notas de prensa. Consultado en <http://www.ine.es/prensa/np768.pdf>.

- [11] Cordon, E., Rubio, E., y Agote, Á. 2005. *La interfaz I+D/marketing en las empresas españolas de alta tecnología tendencias actuales e implicaciones para el éxito de los nuevos productos*. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de La Empresa, Vol. 11, N, 179–201.
- [12] Duarte Castillo, J. 2005. *Factores determinantes y críticos en empresas de servicios, para la obtención de ventajas competitivas sostenibles y transferibles a estrategias de globalización un análisis de la industria del software*. Universitat Autònoma de Barcelona. Consultado en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=5174%0A%0A>
- [13] García-Manjón, Juan Vicente., y Romero-Merino, M. E. 2010. *Efectos de la inversión en I+D sobre el crecimiento empresarial*. Revista de Globalización, Competitividad y Gobernabilidad, 4, (2), 16–27.
- [14] González Bañales, D. 2007. *La influencia de la innovación tecnológica, la orientación al mercado y el capital relacional en los resultados de las empresas de un sector de alta tecnología. Aplicación a la industria del software de México*. Universitat Politècnica de València. Consultado en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=17936>
- [15] Barranco, J.E. 2012. (ed.) *Tecnología e Innovación en España. Informe COTEC 2012*. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid.
- [16] Barranco, J.E. 2014. (ed.) *Tecnología e Innovación en España: informe COTEC 2012*. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid.
- [17] Villamizar, M., Cobo, A. y Rocha, R. 2015. *Patrones determinantes en las actividades de I+D e innovación en empresas de manufactura, relacionadas con la alta tecnología en España*. pág 103-122. En Cobo, A. y Vanti, A (eds.) *Gobernanza Empresarial de Tecnologías de la Información*, Editorial Universidad de Cantabria, Santander.
- [18] Witten, I. H., & Frank, E. 2005. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques* (2nd ed.). Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
- [19] Hall, M.A. 1998. *Correlation-based Feature Subset Selection for Machine Learning*. Hamilton, New Zealand.
- [20] Quinlan, R.1993. *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA.
- [21] Agrawal, R., y Srikant, R. 1994. *Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases*. En: 20th International Conference on Very Large Data Bases, 478-499.

- [22] Liu, B., Hsu, W. y Ma, Y. 1998. *Integrating Classification and Association Rule Mining*. En: Fourth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 80-86.

**Correspondencia**

Ángel Cobo Ortega

[Angel.cobo@unican.es](mailto:Angel.cobo@unican.es)



## **Reconocimiento automático del habla basados en lógica difusa y algoritmos genéticos**

Automatic speech recognition based on logic fuzzy and genetic algorithms

MAXIMILIANO ASÍS LÓPEZ<sup>1</sup> Y ESMELIN NIQUIN ALAYO<sup>1</sup>

### **RESUMEN**

La mayoría de las técnicas actuales sobre el reconocimiento automático de voz se basan en la extracción de características precisas de la señal de voz y la mayoría utiliza cálculos computacionales pesados, dando lugar a demasiada sensibilidad al ruido y, como resultado, la necesidad de implementar complejos algoritmos de detección y eliminación de ruido, que compone un compromiso entre la rapidez y exactitud del reconocimiento de voz.

En esta investigación se explora un enfoque para el reconocimiento de voz humana utilizando técnicas provenientes de la lógica difusa que ignora el ruido en lugar de detectar y eliminar, para conseguir un sistema de clasificación de fonemas sobre espectrogramas de voz. Los parámetros óptimos para el motor de clasificación, se obtuvieron con algoritmos genéticos.

**Palabras clave:** reconocimiento automático de voz; extracción de características; lógica difusa; espectrograma de voz; algoritmos genéticos.

### **ABSTRACT**

Most current techniques for automatic speech recognition are based on the extraction of precise characteristics of the speech signal and most use heavy computations; leading to excessive sensitivity noise and as a result, the need to implement complex detection algorithms and noise removal, composing a compromise between the rapidity and accuracy of speech recognition.

In this research was explored an approach for recognizing human speech using techniques from fuzzy logic ignores the noise instead to detect and remove, for a classification system of phonemes on speech spectrograms. The optimal parameters for classification engine, were obtained with genetic algorithms.

**Keywords:** automatic speech recognition; feature extraction; logic diffuse voice spectrogram; genetic algorithms.

## INTRODUCCIÓN

Reconocimiento Automático del Habla (RAH) es un campo de la Inteligencia Artificial pendiente de investigación y desarrollo. A pesar de los múltiples tratamientos del problema que se han realizado, precisión y velocidad no se han podido obtener simultáneamente. Sigue existiendo una diferencia cualitativamente importante entre los resultados obtenidos por medios informáticos y los obtenidos por expertos humanos. En la literatura sobre el reconocimiento automático de voz, se ha estudiado diferentes modelos con origen en diferentes campos de la investigación: los Modelos Ocultos de Markov provenientes de la estadística (HMM)[1], las Redes Neuronales provenientes de la inteligencia artificial[2], el Análisis de Componentes Principales de la matemática (ACP) [3], etc. El problema común de muchos enfoques de procesamiento del habla es la alta sensibilidad al ruido del medio ambiente, y como consecuencia de esta problemática se genera la necesidad de desarrollar algoritmos complejos que permitan la detección y retiro de ruidos, que requieren una compensación entre la velocidad y precisión del reconocimiento de voz. La búsqueda de elevar la velocidad tiene como consecuencia la reducción de la precisión del reconocimiento; esto significa mantener un margen de error no pequeño.

Las técnicas de lógica difusa han sido probadas con éxito en el análisis de imágenes [4]. Sabemos que se pueden aplicar estas técnicas sobre el análisis de voz, porque el espectrograma (representación de un sonido) puede interpretarse como un tipo de imagen.

Hay dos motivaciones para iniciar un enfoque de lógica difusa para resolver el problema de crear un reconocedor rápido y preciso: En primer lugar, como nosotros los humanos [5], en lugar de detectar y eliminar el ruido, un sistema de reconocimiento de voz puede simplemente ignorarlo y usar la inferencia difusa y reconocimiento de patrones para obtener resultados sólidos en la existencia de altos niveles de ruido. En segundo lugar, como dice Zadeh [6], hemos experimentado que más cálculos precisos en tareas cognitivas no necesariamente dan lugar a resultados más precisos y que, incluso, pueden dar lugar a más pobres respuestas y esto podría ser debido a la naturaleza muy difusa de problemas cognitivos.

Con base en estas ideas, un enfoque de lógica difusa para tareas cognitivas, como el reconocimiento de voz parece ser muy adecuado y hay muchas contribuciones al reconocimiento de voz difusa. Pero en la mayoría de estos enfoques, la lógica difusa es sólo una ayuda que permite tomar decisiones de alto nivel, lo que hace que el paso final de reconocimiento sólo se utiliza como un medio de integración de datos de diferentes fuentes, mientras que el sistema todavía funciona con parámetros acústicos de la señal de voz convencional [7],[8],[9].

Por lo tanto, a pesar de la existencia de numerosos reconocedores de voz citados que utilizan la lógica difusa en alguna parte de su toma de decisiones, no existe un enfoque que se haya diseñado en base a un pensamiento difuso. Para tener un reconocedor de voz con enfoque difuso, este trabajo presenta una aproximación al reconocimiento de fonemas que convierte el espectrograma de la señal voz en una

descripción lingüística difusa y en las etapas de entrenamiento y reconocimiento utiliza esta representación en lugar de los datos acústicos precisos convencionales. Para ello, los diferentes fonemas se representan con términos lingüísticos y el reconocimiento se realiza por un operador sencillo con funciones de bajo coste, como máximo, mínimo y promedio.

El reconocimiento de voz basado en el análisis del espectrograma de la señal de voz, se puede abordar mediante la teoría de lógica difusa y algoritmos genéticos. Esta aproximación es más flexible frente a las técnicas mencionadas y permite abordar el problema desde un punto de vista diferente con muy poco esfuerzo computacional.

Por tanto, este trabajo tiene por objetivo desarrollar un sistema informático para el reconocimiento automático de voz usando lógica difusa y algoritmos genéticos.

La tarea empieza con la conversión del espectrograma de la señal de voz en una descripción lingüística basada en colores y longitudes arbitrarios. Se usa estas medidas difusas para la definición de los fonemas, y con el algoritmo genético se optimiza los parámetros de definición de cada fonema, para clasificar las muestras de voz en grupos de fonemas correctos. El reconocimiento se realiza utilizando razonamiento difuso y para realizar las pruebas se usa la base de datos Timit, obtenida del *linguistic data consortium* (LDC).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lógica Difusa

La lógica difusa nace en 1965 a partir de la publicación del artículo "Fuzzy sets", escrito por Lotfi Zadeh en la Universidad de California, en Berkeley, para la revista "Information and Control". En contraste con la lógica convencional que utiliza conceptos absolutos para referirse a la realidad, la lógica difusa define los conceptos en grados variables de pertenencia, siguiendo patrones de razonamiento similares a los del pensamiento humano [10].

La lógica difusa ha cobrado una fama grande por la variedad de sus aplicaciones, las cuales van desde el control de complejos procesos industriales, hasta el diseño de dispositivos de control de artefactos electrónicos de uso doméstico y entretenimiento, así como también en sistemas de diagnóstico [11]. La lógica difusa es esencialmente una lógica multivaluada que es una extensión de la lógica clásica. Esta última imponen a sus enunciados únicamente valores de falso o verdadero, sin embargo gran parte del razonamiento humano no es tan determinista.

Lo difuso puede entenderse como la posibilidad de asignar más valores de verdad a los enunciados clásicos de falso y verdadero. El objetivo de todo sistema manejador de una lógica difusa es describir los grados de los enunciados de salida en términos de los de entrada; algunos sistemas son capaces de refinar los grados de veracidad de los enunciados de salida, conforme se refinan los de la entrada.

Uno de los objetivos de la Lógica Difusa es proporcionar un soporte formal al razonamiento en el lenguaje natural que se caracteriza por un razonamiento aproximado que utiliza premisas imprecisas como instrumento para formular el

conocimiento. La Lógica Difusa nació, entonces, como la lógica del Razonamiento Aproximado, y en ese sentido, podía considerarse una extensión de la Lógica Multivaluada.

### Algoritmos Genéticos

Los Algoritmos Genéticos (AGs) son métodos adaptativos de optimización, búsqueda y aprendizaje inspirados en los procesos de Evolución Natural. Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias. Los algoritmos genéticos presentan un esquema común que presentamos a continuación [12]:

1. Generar Población Inicial, es una función que se encarga de crear al azar la primera población del algoritmo con una cantidad fija de individuos todos distintos entre sí. Lo normal es crear una población inicial con al menos el doble de individuos que de posibles campos a mutar en cada individuo. Es una forma de conseguir suficiente aleatoriedad y evitar el comportamiento de tipo *random walk*.
2. Evaluar Población, trata de evaluar todos los individuos de una población para que cada uno adquiera un valor que lo identifique y diferencie del resto.
3. Función de selección, consiste en la elección de varios individuos de la población para reproducirlos y crear nuevos individuos hijos con parte del genoma de uno y parte de otros. Existen diferentes tipos de selección de entre los que destaca la selección por torneo. Se escoge varios individuos rechazando aquellos que tengan un menor valor de evaluación.
4. Cruzar Población, es la parte del algoritmo que se encarga de mezclar los genomas de los individuos obtenidos con la función de selección para crear hijos. Normalmente se crea hijos hasta que la población es dos veces la inicial.
5. Mutación, es un cambio al azar que se produce en el genoma de los individuos hijos obtenidos, para que tengan alguna diferencia propia respecto de los padres.
6. Reemplazo generacional, escoge de toda la población un número fijo de individuos más reducido. Para la reducción también se suele tener en cuenta el valor de evaluación que se le ha asignado a cada sujeto en el punto anterior.
7. Criterio de Parada, es la especificación del momento en el que el algoritmo genético termina ya sea porque ha llegado al umbral establecido, al tiempo o recursos límites para la prueba, o bien ha sido terminado de forma manual por el experto.

### Procedimiento de cálculo para los espectrogramas de una señal de voz

El espectrograma, es una representación visual de las diferentes frecuencias que componen un intervalo de tiempo. Para cada instante representado en el eje horizontal, existe una intensidad en cada uno de los valores del eje vertical. A diferencia de la típica señal de representación acústica, en la que sólo se aprecia la amplitud de onda para cada periodo de tiempo, el espectrograma aporta información referente a la frecuencia del sonido.

A continuación se describe un procedimiento para obtener los espectrogramas de una señal de voz en dos dimensiones. La figura 1 muestra el diagrama de bloques para este procedimiento.

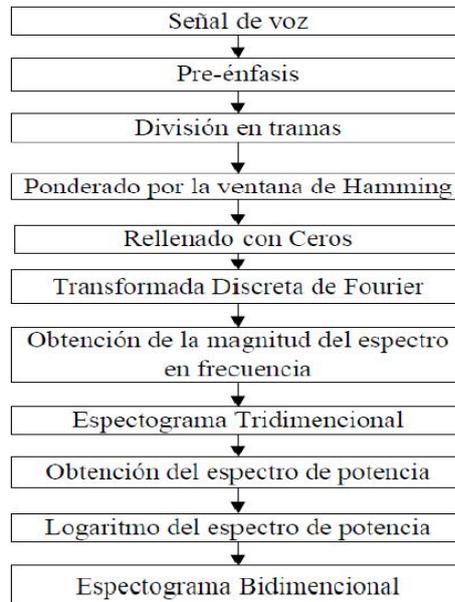


Figura 1 Procedimiento de cálculo para los espectrogramas

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Representación lingüística de un espectrograma

El espectrograma de señal de voz es una imagen de dos dimensiones que presenta la amplitud de cada frecuencia disponible en cada muestra de tiempo de la señal de voz determinada

El oído humano es capaz de reconocer con más resolución las señales de frecuencias bajas que las altas. Por este motivo, es normal que el eje vertical del espectrograma se estreche para obtener las frecuencias bajas con más precisión que las altas (el espectrograma estrechado se observa en la figura 3). Un método estándar para llevar a cabo este proceso es mediante la escala de Mel. Este proceso se conoce como transformación.

La aplicación de esta función da como resultado el espectrograma con el eje vertical rojo que se observa en la figura 2.

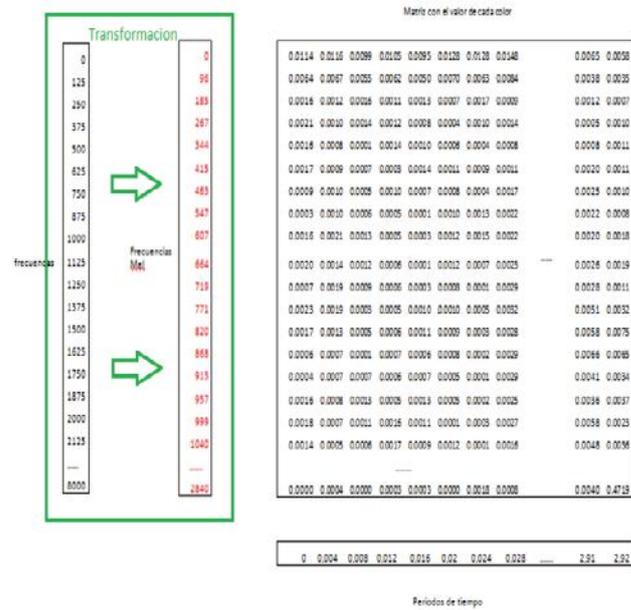


Figura 2. Espectrograma a nivel de datos en el que se muestra la transformación de frecuencias en Hzs a frecuencias en Mels

Si se reajustan los valores del espectrograma para representarlo con frecuencias de 0 a 8000, se observa en la figura 3.

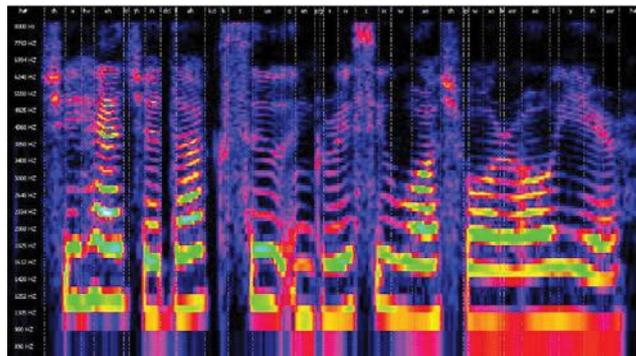


Figura 3 Espectrograma después del estrechamiento por la escala de Mel

Por otra parte, el ser humano no lee todo el espectrograma con total precisión, se centra en unas pocas frecuencias de entre 4 y 6 KHz. Tampoco necesita saber cuál es la amplitud exacta de una onda, ya que con saber si es alta o baja resulta suficiente. Finalmente, no necesita conocer la duración puntual de un sonido, sino su duración relativa (larga, corta, etc.). Por estos motivos, en lugar de realizar los procesos con

todo el espectrograma completo, se hace con una reducida y difusa descripción lingüística obtenida del mismo. A este proceso de simplificar la información del espectrograma lo denominaremos reducción.

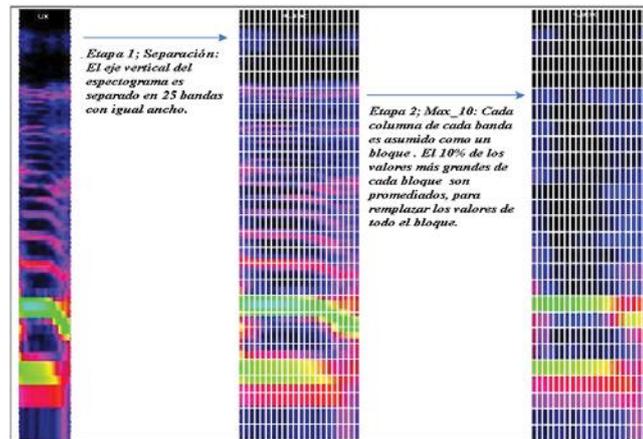


Figura 4. Ejemplo del proceso de reducción

Después de transformar el espectrograma de frecuencias a la escala Mel, se reduce el eje vertical del espectrograma en 25 bandas. Queremos conseguir un valor para cada una de las bandas y, por tanto, 25 valores para cada muestra en el eje temporal del espectrograma. El representante de cada banda se obtiene ordenando todos los valores que la formaban y haciendo la media sólo de cierta cantidad de valores máximos. Esta cantidad viene definida por una variable llamada MaxN, siendo N el número que indica el porcentaje de máximos que se va a tener en cuenta.

En esta investigación se usa un Max10, y por tanto, se elige un 10% de los máximos. Con esta media se consigue disminuir parte del ruido, ya que se obtiene una media que parte de los valores más altos en lugar de un único valor.

Véase el proceso en la imagen (figura 4) obtenida, junto a los espectrogramas anteriores El espectrograma completo queda representado en la figura 5.

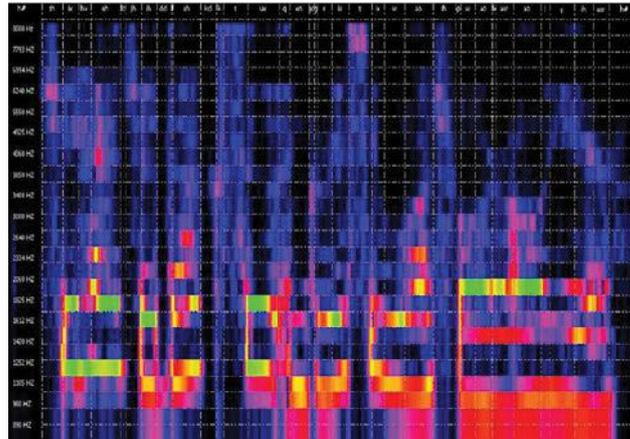


Figura 5. Espectrograma después de la reducción de datos

Cada fonema se divide en 25 bandas, igual que en cualquier grabación de muestra sobre la que se quiera hacer un reconocimiento (Un ejemplo de un espectrograma de muestra es el representado en la figura 5). La banda de un fonema guarda información acerca de los posibles valores que puede y debe tener un cuadro de una muestra en esa misma banda (siempre que el cuadro represente parte del fonema). Esta información es el nombre de dos conjuntos difusos (las etiquetas lingüísticas y las funciones de pertenencia que definen estos conjuntos, el valor de la muestra tiene que pertenecer en un alto grado a alguno de ellos).

En la figura 6 podemos ver un fragmento de la muestra y la representación de un fonema con las etiquetas que le corresponden en cada banda.

Para terminar de definir un fonema, se le tiene que asignar otra etiqueta lingüística, que determine, en qué conjunto difuso (muy corto, corto, medio, largo y muy largo) se obtiene una mayor pertenencia para un valor de longitud dado. Es lo que en la figura 6 se denomina Longitud.

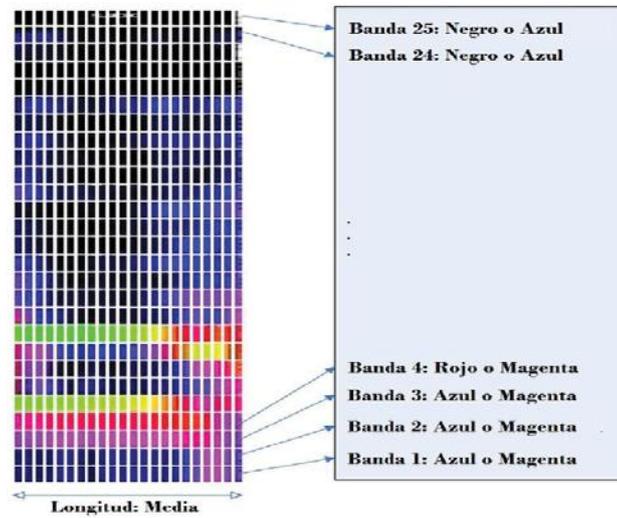


Figura 6. Ejemplo de descripción de un fonema. Cada banda es representada por los dos colores más prometedores. También se aprecia la etiqueta lingüística que representa la longitud

Hay definidas trece funciones con sus cuatro puntos: inicial, primer máximo, último máximo y final. Las ocho primeras, hacen referencia a los conjuntos difusos que definen cada banda del fonema. Se representan mediante una escala cromática compuesta por negro, azul, morado, rojo, amarillo, verde, cian y blanco. Las cinco últimas funciones representan valores de longitud, muy corto, corto, longitud media, larga y muy larga. El punto inicial de cada función, muestra el valor desde el que un elemento deja de tener pertenencia 0 a ese conjunto. Primer máximo y último máximo abarcan todo un intervalo en el que la pertenencia es 1. Por último, al final vuelve a mostrar el punto desde el que la pertenencia vuelve a ser 0. En cualquier caso, si coinciden iniciales o finales con primer máximo o último máximo, se toma como bueno el valor de pertenencia de los máximos, es decir, 1.

Los puntos inicial, primer máximo, último máximo y final se mueven en un rango  $[0,0.99]$  para las funciones etiquetadas con el nombre de colores, y en el rango  $[0,99]$  para las funciones etiquetadas con el nombre de longitudes. Los valores deben estar ordenados de forma que:  $\text{inicial\_primer} < \text{máximo\_último} < \text{máximo\_final}$ .

Véase la figura 7. En la que están representadas todas las funciones de pertenencia.

## Reconocimiento automático del habla

	Inicial	PrimerMax	UltimoMax	Final
Negro	0	0	0.05	0.35
Azul	0	0.05	0.22	0.5
Morado	0	0.23	0.35	0.63
rojo	0.05	0.36	0.5	0.8
Amarillo	0.23	0.51	0.63	0.93
Verde	0.36	0.63	0.8	0.99
Cian	0.51	0.81	0.93	0.99
Blanco	0.63	0.94	0.99	0.99
Muy corto	2	2	3	5
Corto	2	2	6	10
Media	2	6	12	17
Larga	8	12	20	30
Muy larga	12	18	69	99

Figura 7. Representación de las funciones de pertenencia para cada una de las etiquetas lingüísticas

Con el algoritmo genético, los valores que representan las funciones máximas y mínimas se irán ajustando automáticamente, ya que la definición de todas las funciones forma parte del genoma de un individuo, y por tanto, puede sufrir mutaciones.

## Reconocimiento del habla

Llamamos reconocimiento por bloques al proceso que se lleva a cabo cuando, para intentar reconocer unos fonemas sobre una muestra, sabemos entre qué momentos (uno de inicio y otro de fin) se pueden encontrar estos fonemas. Toda la información que se encuentra entre cada inicio y fin de la muestra se considera un bloque. En la figura 8 se observa algunos ejemplos de dónde empieza y dónde acaba alguno de los bloques que tienen la información de un fonema.

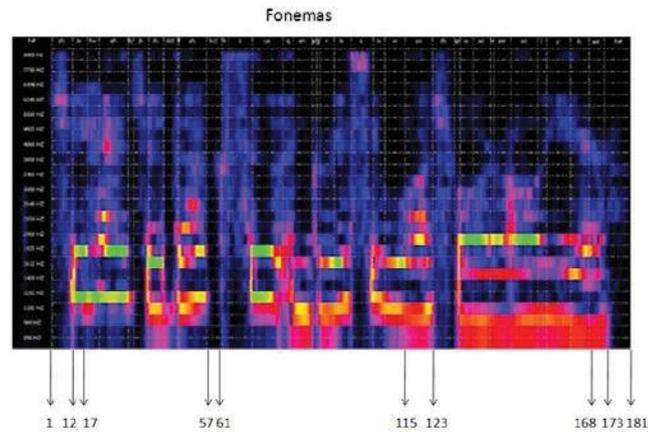


Figura 8. Ejemplo de bloques, con sus límites de inicio y fin conocidos, que contienen la información correspondiente a un fonema

El proceso comienza con la delimitación de cada fonema dentro de la grabación (o dicho de otra forma, hay que definir cada bloque manualmente como se observa en la figura 8, porque conocemos el ejemplo y los fonemas que lo componen). Con la información entre esos intervalos de tiempo, se realiza una comparación con la definición lingüística de nuestros fonemas representados.

El resultado que se obtiene al final es una lista con todos los fonemas existentes y un valor de coincidencia por cada uno. Este valor se mueve en un rango de cero a cien, e indica la probabilidad con la que cada fonema encaja en ese bloque.

Al ordenar esta lista de mayor a menor, siempre estarán en las primeras posiciones los fonemas con mejor valor de coincidencia. Cuando se ha cogido el primero en cada uno de los bloques, termina el reconocimiento.

A lo largo del documento sólo se ha podido trabajar con una muestra de la base de datos Timit (LDC93S1.wav; She had her dark suit in greasy wash water all year). Ha resultado un problema ya que nos ha obligado a centrarnos principalmente en pruebas de eficiencia de los métodos (tiempo y memoria). Como el reconocimiento es un proceso sencillo y breve, no se podía realizar las pruebas sobre él, teniendo que hacerlas en el proceso de entrenamiento.

Mediante la mejor definición de los fonemas que se ha encontrado en cada una de las pruebas, se realiza un reconocimiento de esos fonemas sobre la muestra en la que se ha entrenado. Además, se anota los fonemas encontrados en cada bloque de la muestra con su porcentaje de similitud.

Reconocimiento automático del habla

Fonemas de la muestra																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	3	13	3	20	21	2	22	20	21	23	24	21	25	26	8	24	
h	sh	ix	lv	eh	dd	jh	ih	dd	d	ah	kd	k	s	ux	q	en	gd	g	r	ix	s	ix	w	ao	sh	epi	w	ao	dx	axr	ao	l	y	ih	axr
Fonemas encontrados (porcentaje)																																			
1	2	3	4	10	6	7	8	6	9	10	11	12	13	3	19	16	17	18	19	3	13	3	8	21	2	22	25	21	23	24	21	25	26	8	24
100	100	100	100	29	100	100	57	100	96	64	100	100	100	63	100	100	100	100	76	100	100	100	82	96	100	96	100	90	97	100	100	100	100	100	100

Figura 9. Prueba 1 con 40 individuos

Fonemas de la muestra																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	6	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	3	13	3	20	21	2	22	20	21	23	24	21	25	26	8	24
h	sh	ix	lv	eh	dd	jh	ih	dd	d	ah	kd	k	s	ux	q	en	gd	g	r	ix	s	ix	w	ao	sh	epi	w	ao	dx	axr	ao	l	y	ih	axr
Fonemas encontrados (porcentaje)																																			
1	2	3	4	3	6	7	22	6	9	21	11	12	13	3	15	16	6	9	19	3	13	3	20	21	2	22	20	21	23	24	21	25	19	3	24
100	92	84	100	15	100	88	26	100	87	35	100	100	96	40	100	100	100	77	82	42	57	98	100	75	84	100	100	93	100	88	50	100	88	87	89

Figura 10. Prueba 2 con 40 individuos

Fonemas de la muestra																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	ix	ix	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	3	13	3	20	21	2	22	20	21	23	24	21	25	26	8	24
h	sh	ix	lv	eh	dd	jh	ih	dd	d	ah	kd	k	s	ux	q	en	gd	g	r	ix	s	ix	w	ao	sh	epi	w	ao	dx	axr	ao	l	y	ih	axr
Fonemas encontrados (porcentaje)																																			
1	7	3	4	8	6	7	13	6	9	14	11	12	13	14	15	16	17	18	19	3	13	3	19	21	11	22	14	21	23	24	21	25	19	3	24
100	100	100	100	21	100	100	68	100	100	25	100	100	100	71	100	100	100	100	100	89	100	100	100	100	94	96	100	100	99	100	100	100	100	99	100

Figura 11. Prueba 3 con 40 individuos

Haciendo una comparación entre los enfoques de modelos ocultos de Markov y lógica difusa desarrollada en este trabajo tenemos:

En el enfoque desarrollado se ha probado en una base de datos de voz estándar TIMIT y se compara con el sistema de reconocimiento de modelo oculto de Markov con características

MFCC como un enfoque de reconocimiento de voz ampliamente utilizado.

	Enfoque Difuso	Enfoque HMM
Respuesta correctas en la primera posición	85%	62.28%
Respuesta correctas en la tercera posición	95%	79.60%
Respuesta correctas en la sexta posición	98%	86.98 %

**CONCLUSIONES**

El campo de reconocimiento de voz se encuentra sometido a un intenso desarrollo, dada la activa búsqueda de nuevas pero sobre todo mejores soluciones a cada uno de los múltiples subproblemas que el reconocer/comprender los elementos del lenguaje humano implica. Aún con los enormes avances recientes y la creciente cantidad de

especialistas en el área, los principales problemas asociados al reconocimiento de voz permanecen abiertos.

A pesar de la existencia de varios métodos para el reconocimiento del habla, el problema sigue aun abierto sin ningún algoritmo que sea rápido y lo suficientemente preciso para ser una respuesta definitiva para el reconocimiento de la voz humana en aplicaciones industriales y comerciales. Para tener un sistema rápido y preciso de reconocedor de voz, este trabajo presenta un modelado difuso de la señal de voz en representación de espectrograma con términos lingüísticos.

La principal diferencia con los enfoques anteriores no difusos es que ignorar los detalles que hacen que el reconocimiento sea lento y sensible a pequeñas perturbaciones o ruido. Y el principal diferencia con otros modelos difusos existentes está en el hecho de que este modelo no utiliza características acústicas convencionales de voz señal y está totalmente basado en pensamiento difuso, utilizando las nuevas características de la señal de voz que se definen por términos de lingüística, tanto como una forma de que un ser humano puede leer y traducir un discurso espectrograma de voz en clases de fonemas.

El método ha sido probado en una base de datos estándar para un solo hablante. Los resultados de la comparación con un enfoque ampliamente utilizado (Modelo de Markov oculto con MFCC conjunto de características) son también presentados, mientras que el método propuesto es mucho más simple y utiliza mucho menos costo computacional, ha ganado importantes y mejores resultados en el tratamiento de ruido y reconocimiento en entornos ruidosos del medio ambiente.

La definición óptima de los fonemas se obtiene utilizando los algoritmos genéticos, la tarea de clasificación es muy rápida debido a muy poco necesarios cálculos. El algoritmo es probado en la base de datos TIMIT para muestras de un solo locutor y ha dado lugar a alrededor del 85% primero correcta respuestas y 95% tercio los correctos.

## REFERENCIAS

1. B. Babaali, H. Sameti. 2004. "The sharif speaker-independent large vocabulary speech recognition system". In: Proceedings of the 2nd Workshop on Information Technology and Its Disciplines, Kish Island. Iran.
2. M.R. Berthold. 1994. "A time delay radial basis function network for phoneme recognition". In: Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, vol. 7, Orlando. pp. 4470–4473.
3. O.W. Kwona, T.W. Lee. 2004. "Phoneme recognition using ICA-based feature extraction and transformation". *Signal Process.* 84 (6) 1005–1019.
4. Espinola Gonzales, Jesús; Asís López, Maximiliano y Rodriguez Sabino, Vladimir. 2011. "Sistema de visión artificial para la detección de somnolencia de conductores, basado en el comportamiento ocular". *Aporte Santiaguino*, jul.2011, vol.4, no.2, p.145-151. ISSN 2070-836X.
5. H.L. Dreyfus. 1972. "What computers still can't do". In: *A Critique of Artificial Reason*, MIT Press.

6. L.A. Zadeh. 2002. "From computing with numbers, to computing with words, a new paradigm". *Int. J. Appl. Math.* 12 (3), 307–324.
7. P.A. Nava. 1998. "Neuro-fuzzy system for speech recognition". In: *Proceedings of the International Congress on Electronics and Electrical Engineering*, vol. 20, Chihuahua. pp. 503-507.
8. P. Mills, J. Bowls. 1996. "Fuzzy logic enhanced symmetric dynamic programming for speech recognition". In: *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*.
9. S. Chang, S. Greenberg. 2003. "Application of fuzzy-integration-based multipleinformation aggregation in automatic speech recognition", in: *Proceedings of the IEEE Conference on Fuzzy Information Processing*, Beijing.
10. L. X.Wang. 1994. *Adaptive Fuzzy Systems and Control*. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.
11. Passino, Kevin; Yurkovich, Stephen. 1989. *Fuzzy control*. Edit. Addison Wesley, 1997.
12. Goldberg, D. "*Genetic Algorithms*". In *Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley.

### **Correspondencia**

Maximiliano Asís López

[maxasis@hotmail.com](mailto:maxasis@hotmail.com)

## Optimizar el diagnóstico médico en un hospital mediante un sistema experto usando una base de conocimientos

EDWARD ALEXANDER RÍOS CHÁVEZ<sup>1</sup> Y HUGO FROILÁN VEGA HUERTA<sup>1</sup>

### RESUMEN

En el presente proyecto hablaremos sobre los malos diagnósticos por parte de los médicos inexpertos y de cómo poder aliviarles un poco la carga de la falta de experiencia médica que tienen al momento de brindar un diagnóstico médico, mediante una herramienta informática.

**Palabras clave:** sistema experto; base de conocimiento; shell; optimización de procesos.

### ABSTRACT

This project we will talk about misdiagnosis by inexperienced doctors and how to alleviate them a little the burden of lack of medical experience they have when providing medical diagnosis using a computer tool.

**Keywords:** expert system; knowledge base; shell; process optimization.

### INTRODUCCIÓN

En vista de que los hospitales no cuentan con las herramientas ni los recursos necesarios para brindar al paciente un buen diagnóstico, nos damos cuenta que estamos frente a un problema serio; entonces es necesario brindar los recursos necesarios a los médicos para que puedan mejorar la calidad de atención a los pacientes.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El problema es que el ratio de malos diagnósticos por parte de los médicos inexpertos supera el 25% en el país. (Variable: Malos Diagnósticos por parte de los médicos inexpertos, Valor: 25%).

Por una parte están los malos diagnósticos que se puede dar de forma casual, recordando una frase “Errar es humano”. Esta frase debe ser cogida con pinzas, ya que en el ámbito médico un error puede ser fatal, pero que merece ser contemplada desde un punto de vista global.

Es así que día a día y durante las 24 horas del día se van produciendo en nuestro país, se van dando buenos diagnósticos y también a su vez diagnósticos erróneos que pueden ser fatales para los pacientes.

En las consultas médicas se toma decisiones que conllevan una enorme responsabilidad y que afectan a una esfera tan importante de la persona como es su salud, su integridad física y en último término su vida.

Por otra parte están los malos diagnósticos que se puede dar de forma premeditada. Que los médicos brinden este tipo de diagnósticos se puede deber a muchos factores como por ejemplo:

Cada médico de los hospitales debe atender a 15 pacientes al día, pero recibe más de 50 pacientes; esto incrementa la carga laboral de los médicos y a su vez conlleva a que el médico en su afán de poder atender a más pacientes tenga que reducir el tiempo que le lleva diagnosticar a cada paciente que recibe.

De acuerdo a las normas de prestaciones médicas del Ministerio de Salud (Minsa), los médicos deben abocarse cuatro horas a las atenciones médicas y dos administrativas; sin embargo, la ausencia de personal obliga a dedicar la jornada entera a las citas.

A todo esto se suma que la gran mayoría de doctores no respeta los 20 minutos establecidos por el “MINSa” que debería durar una cita médica; los doctores deberían analizar todas las sintomatologías del paciente y a su vez proceder al “interrogatorio médico”.

El objetivo general es mejorar el diagnóstico por parte de los médicos y se logrará brindándoles una herramienta en la cual se podrán apoyar de tal forma que se pueda optimizar el diagnóstico médico.

Los objetivos específicos fueron:

- Mejorar el conocimiento de los médicos inexpertos.
- Mejora del diagnóstico médico en un 50%.
- Cumplir con el tiempo adecuado de una consulta médica.
- Son 20 minutos establecidos por el “MINSa” que debería durar una cita médica; los doctores deberían analizar todas las sintomatologías del paciente y a su vez proceder al “interrogatorio médico”.
- Obtención de recursos para la atención de los pacientes.
- Ayudar a los médicos novatos a adquirir conocimientos que muchas veces solo se gana con la experiencia.

### Sistemas Expertos

Según indica Nebendahl, [88], los sistemas expertos son programas que de alguna forma llegan a representar el comportamiento de algún humano experto en alguna materia a la hora de resolver algún problema en especial. En forma general, los humanos expertos se basan en su experiencia para poder resolver los problemas que

se les presenten en algún momento. Los sistemas expertos permiten contemplar el conocimiento de hechos y soluciones de problemas de tal forma que toda esa información sea procesada mediante algún tipo de aplicación.

La idea es que las experiencias vividas por los expertos humanos se vean reflejadas en los sistemas expertos.

Pero también hay que tener en cuenta que este tipo de sistemas tratan de programas que no tienen nada de humano, es decir, básicamente almacenarán el conocimiento en forma de hechos, reglas y a su vez buscar respuestas dentro de todos estos conocimientos casi inteligentes. Si lo vemos desde este punto de vista el sistema experto llega a superar al cerebro humano en cuanto a cantidad de memoria, velocidad de procesamiento y velocidad de búsqueda se refiere. Pero también hay aspectos que siguen y seguirán siendo propiamente del humano, como por ejemplo: la creatividad, la originalidad y la consciencia de responsabilidad.

Los sistemas expertos no han de ser vistos como sistemas aislados. En un futuro se integrarán probablemente en un entorno de procesamiento de datos ya existente y se utilizarán los datos o los resultados de otros programas. A veces, un sistema experto cubre sólo una parte pequeña, aunque decisiva, de una aplicación “clásica” mayor.

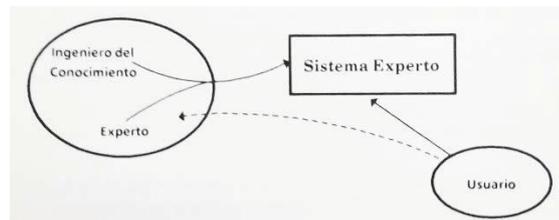


Figura 1. Relación entre los grupos que intervienen en el desarrollo  
Fuente Giarratano Riley, 1998.

### Componentes de un Sistema Experto

Según indica Betanzos, [4], una característica de los sistemas expertos es la separación entre conocimientos, es decir reglas, hechos por un lado y su procesamiento por el otro. A ello se añade una interfaz de usuario y un componente explicativo.

Muchas veces dependiendo de la aplicación concreta, los componentes descritos pueden estar estructurados de forma muy variada.

Los componentes de un sistema experto:

- La base de conocimientos de un sistema experto contiene el conocimiento de los hechos y de las experiencias de los expertos en un dominio determinado.
- El mecanismo de inferencia puede simular la estrategia de solución de un experto.
- El componente explicativo aclara al usuario la estrategia de solución encontrada y el porqué de las decisiones tomadas.
- La interfaz de usuario sirve para que este puede realizar una consulta en un lenguaje lo más natural posible.

Optimizar el diagnóstico médico de un hospital

- El componente de adquisición ofrece ayuda a la estructuración e implementación del conocimiento en la base de conocimientos.

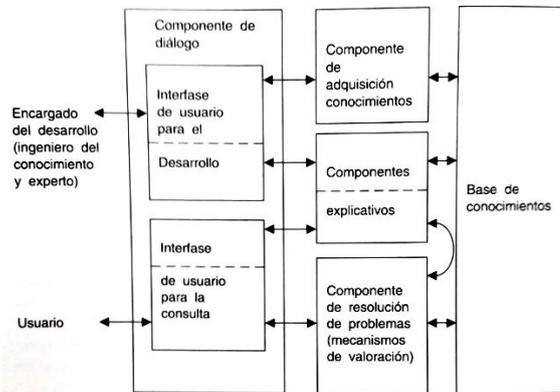


Figura 2. Componentes de un Sistema Experto  
Fuente Alonso Betanzos, 2004

#### Base de conocimiento

Según indica Hodson, [94] el conocimiento de los sistemas expertos puede obtenerse por experiencia o consulta de los conocimientos que suelen estar disponibles en libros, revistas y con personas capacitadas.

Para tener en claro lo que es la base del conocimiento también debemos tener en cuenta que es el “Dominio del conocimiento” del experto humano. Al conocimiento del especialista para resolver problemas específicos se le llama “Dominio del conocimiento”.

Poniendo un ejemplo, un sistema experto médico, diseñado para diagnosticar enfermedades infecciosas debe tener una gran cantidad de conocimiento acerca de los síntomas causados por este tipo de enfermedades. En este caso, el dominio del conocimiento es la medicina y consta del conocimiento de enfermedades, sus síntomas y tratamientos.

El dominio del conocimiento está completamente incluido dentro del dominio del problema. La porción exterior al dominio del conocimiento simboliza un área en que no existe conocimiento acerca de todos los problemas.

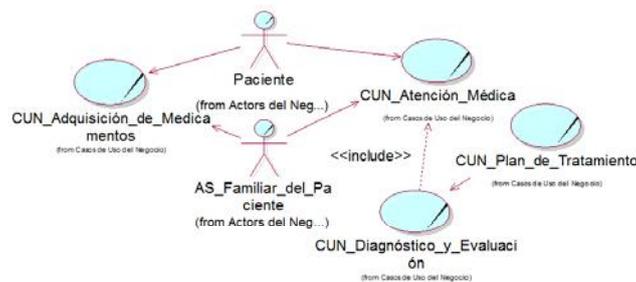
La base de conocimiento contiene todos los hechos, las reglas y los procedimientos del dominio de la aplicación que son importantes para la solución del problema.



Figura 3. Un probable problema y su relación con el dominio del conocimiento  
Fuente William Hodson, 1994

1)  
**Shell**

Según indica Shmiel, [91], un Shell es la parte que queda cuando se le extrae el conocimiento almacenado en la base de conocimientos. Shell significa concha. De esta forma es posible poder usar un Shell con varias



bases de conocimientos. Los problemas que pueden solucionarse son sistemas expertos, son demasiado distintos entre sí. Es por esto que hace falta realizar adaptaciones específicas para cada proyecto. No es el Shell el que marca la forma de procesar el conocimiento basándose en sus posibilidades técnicas, sino el experto que decide cómo y en qué secuencia se procesa el conocimiento. El sistema experto debe adaptarse al comportamiento del experto y no a la inversa. El experto ha de poder reconocer su forma habitual de trabajo. A menudo resulta ser también el usuario del sistema experto. El experto humano no es sustituido, sino sólo apoyado en parte de su trabajo diario por la experiencia acumulada en la base de conocimientos. Es el especialista que extrae el conocimiento mediante preguntas, lo estructura y lo convierte en formas de representación del conocimiento interpretables por un software. Elige los medios auxiliares necesarios para su actividad, sean métodos, hardware, lenguajes o shells. También es el responsable de la correcta utilización del sistema experto y de la primera formación del usuario final. Los componentes de un Shell solo pueden modificarse y ampliarse bajo ciertas condiciones. La forma de representación del conocimiento en un Shell está hecha a medida para determinadas aplicaciones. Con frecuencia solo puede cubrirse una parte del conocimiento del experto con el Shell elegido. El Shell de un sistema experto no solo contiene el mecanismo de valoración, sino también herramientas para el mantenimiento de la base de conocimientos, es decir estructura, verificación,

Optimizar el diagnóstico médico de un hospital

modificación, etc. Todos estos componentes están caracterizados por los formalismos de representación del conocimiento en que se basa el sistema experto.

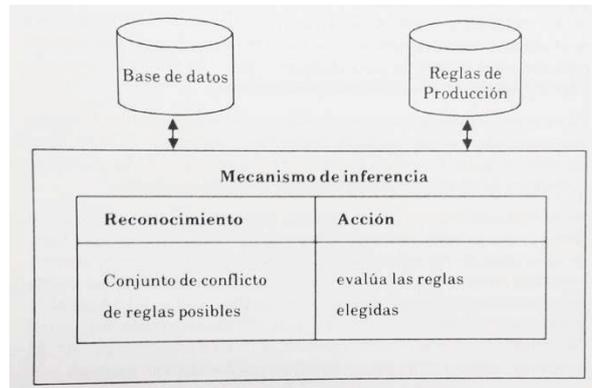


Figura 4. El mecanismo de inferencia interactuando con el Shell  
Fuente José Schmiel, 1991

Modelo del Sistema  
Casos de Uso del Negocio (CUN)

Figura 5. Diagrama de Casos de Uso del Negocio

Diagrama de Paquetes

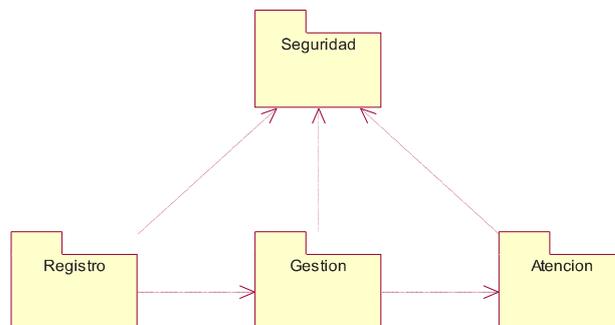


Figura 6. Diagrama de Paquetes

Diagrama de Casos de Uso del Sistema

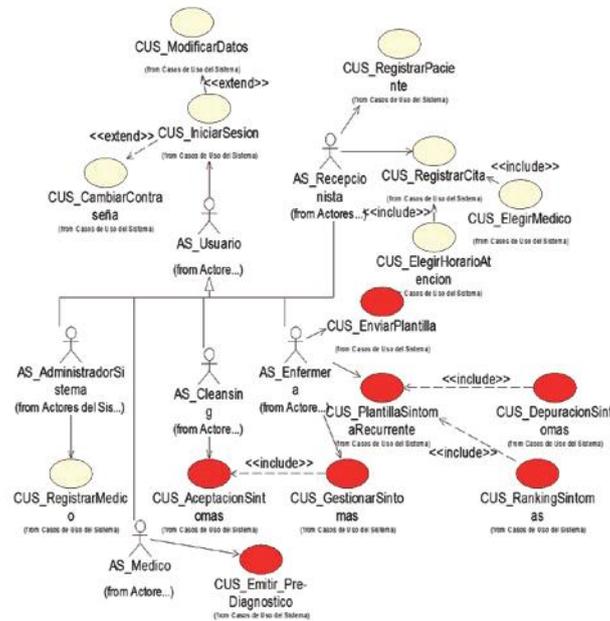


Figura 7. Diagrama CUS

Diagrama de Clases

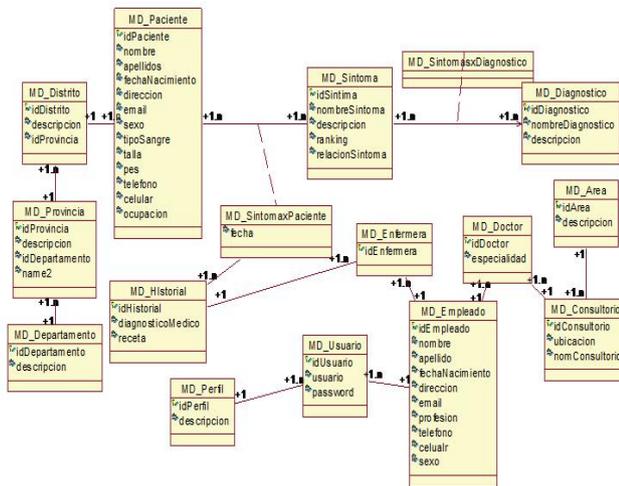


Figura 8. Diagrama de Clases

## Diagrama de Secuencia

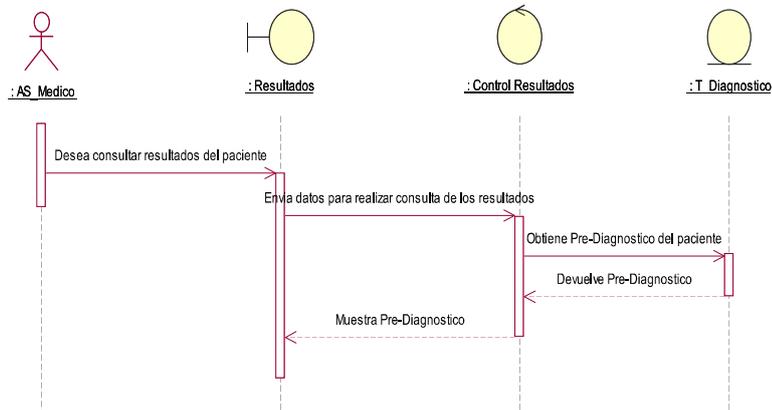


Figura 10. Diagrama de Secuencia “Emitir Pre – Diagnóstico”

## Prototipos

### Parte Móvil

#### ➤ Consultorios



Figura 11. Prototipo “Consultorios”

➤ Lista de Pacientes



The screenshot shows a mobile application interface for a medical clinic. At the top, the status bar displays the time as 1:15 PM. Below the status bar, the app's title bar reads "Medicina General - Consultorio Nro. 1" and includes "NUEVO" and "SALIR" buttons. The main content area is a dark gray background with a central white dialog box titled "AGREGAR PACIENTE". The dialog box contains the following fields: "Nombres:" with a text input field, "Apellidos:" with a text input field, "Edad:" with a text input field, and "Sexo:" with two radio buttons labeled "Masculino" (selected) and "Femenino". At the bottom of the dialog box are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Figura 12. Prototipo “Lista de Pacientes”



The screenshot shows the same mobile application interface. The status bar now displays the time as 1:16 PM. The title bar remains "Medicina General - Consultorio Nro. 1" with "NUEVO" and "SALIR" buttons. The main content area is a light gray background. At the top, there is a header for a patient: "1) Perez, Rodrigo" followed by "Masculino, 33 años" and "En cola". Below this header, the rest of the screen is mostly blank, with a small gray button visible at the bottom center.

Figura 13. Prototipo “Lista de Pacientes en Cola”

Optimizar el diagnóstico médico de un hospital

## Parte Web

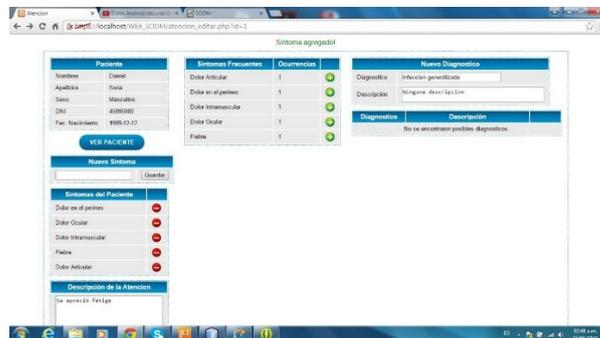


Figura 14. Prototipo “Emitir Pre - Diagnóstico”

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró obtener como principal resultado, la exitosa implementación de un sistema web, así como también la parte móvil, en un programa “piloto”. Además se logró hacer seguimiento a todos los procesos involucrados en este programa “piloto”.

## CONCLUSIONES

Esta herramienta fue de gran ayuda sobre todo a los médicos novatos, ya que el sistema les brindó esa experiencia con la que aún no cuentan.

El sistema logró brindar al paciente una mejor calidad de atención.

Los médicos mejorarían sus diagnósticos en un 35%.

Los médicos lograron realizar un análisis más exhaustivo de las dolencias del paciente, ya que el sistema ahorró varios minutos y mostró información que por lo general él siempre pide.

Se podría reducir en un 35% los costos por los tratamientos erróneos de los pacientes.

El sistema podría ser fácilmente integrado con otros sistemas que puedan ayudar a realizar los objetivos previamente planteados.

## RECONOCIMIENTOS

Me gustaría dar reconocimiento al Ing. Humberto, al Dr. Hugo Vega, a los docentes de los cursos de tesis y de los cursos de talleres de proyectos, quienes contribuyeron

importantemente para que el presente proyecto se lleve a cabo satisfactoriamente.

## **REFERENCIAS**

[1] Nebendahl, Dieter. 1988. *Sistemas Expertos; Introducción a la técnica y aplicación*. Editorial: Barcelona: Marcombo.

[2] Betanzos, Rudolf. 1991. *Sistemas Expertos parte 2: experiencia de la práctica / Dieter Nebendahl*. Editorial Barcelona. Marcombo.

[3] Hodson, Harry. 1998. *Sistemas Expertos: Principios y programación*. Editorial Buenos Aires. Thomson.

[4] Shmiel, Smith. 2004. *Ingeniería del conocimiento: Aspectos metodológicos*. Editorial Madrid. Pearson Educación.

## **Correspondencia**

Edward Alexander Ríos Chávez  
[arios.chaves@gmail.com](mailto:arios.chaves@gmail.com)

