

# SISTEMA EXPERTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS

Mateo Lezcano-Brito<sup>1</sup>, Minerva Lezcano-Brito<sup>2</sup>, Lydia Ríos-Rodríguez<sup>3</sup>

*1 Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor investigador, Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad Cooperativa de Colombia, sede Neiva, Colombia. Correo electrónico: mateo.lezcanob@campusucc.edu.co*

*2 Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba*

*3 Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora, Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez", Sancti Spiritus, Cuba*

---

**Recibido:** 30 de noviembre del 2015

**Aprobado:** 20 de abril del 2016

---

**Cómo citar este artículo:** M. Lezcano Brito, M. Lezcano Brito, L. R. Ríos Rodríguez, "Sistema experto para la identificación de plásticos", *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, no. 20, pp. xx-xx, oct. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v19i20.1414>

---

**Resumen.** *Introducción:* este artículo de investigación presenta una actualización del proyecto "Sistema Experto para la selección de materiales plásticos para el diseño y la elaboración de nuevos productos" desarrollada durante 1990 en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. El objetivo de la investigación actual, realizada durante el 2015 en la Universidad Cooperativa de Colombia, es actualizar el sistema experto desarrollado en 1990. *Metodología:* para el desarrollo del sistema experto, se usó la metodología Common kads, la cual permite estructurar el conocimiento al hacer una distinción entre el dominio de la aplicación, la tarea y la inferencia, lo que facilita la reutilización de componentes. En el proceso de inferencia, se usa la dirección de búsqueda dirigida por objetivos, debido a las características del conocimiento contenido en las bases, en las cuales el proceso de inferencia comienza sin la existencia de datos preliminares. *Resultados:* la nueva versión del sistema mejora las inferencias, ofrece una interfaz más amigable y amplía el conocimiento. *Conclusiones:* la ampliación de las bases de conocimiento, adaptadas a nuevas situaciones, incide en la obtención de respuestas más fundamentadas y mejores; la implementación del nuevo sistema sobre ucShell, versión 3.0 proporciona una mejora notable en la interfaz, que incluye la posibilidad de ofrecer imágenes y videos durante el proceso de inferencia y admite bases de conocimientos de cualquier tamaño y la facilidad de cambiarse entre ellas.

**Palabras clave:** ingeniería inversa, inteligencia artificial, plásticos, sistema experto.



## EXPERT SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF PLASTIC MATERIALS

**Abstract.** *Introduction:* This research article is an update of the project “Expert System for the selection of plastic materials for the design and preparation of new products”, developed in 1990 by the Central University “Marta Abreu” of Las Villas. The objective of the current research, conducted in the year 2015 by the Cooperative University of Colombia, is to update the expert system developed in 1990. *Methodology:* The Common kads methodology was used for the development of the expert system, which allows the structuration of knowledge by creating a distinction between different domains of application, task and inference, thus enabling the reuse of components. During the inference process, a search direction directed by objectives was used, due to the characteristics of knowledge contained in the bases, in which the inference process is initiated without preliminary information. *Results:* The newer version of the system improves the inferences, offers a more user-friendly interface and extends knowledge. *Discussion:* The addition of knowledge bases, adapted to new situations, has an effect in the elicitation of better and more substantiating research answers, and the implementation of the new system over UCShell 3.0 provides a remarkable improvement in the interface, including the possibility of offering images and video during the inference process and admitting knowledge bases of any size while facilitating their exchange.

**Keywords:** reverse engineering, artificial intelligence, plastics, expert system.

## SISTEMA ESPECIALIZADO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PLÁSTICOS

**Sinopse.** *Introdução:* este artigo de investigação apresenta uma atualização do projeto “Sistema Especialista para a seleção de materiais plásticos para o desenho e a elaboração de novos produtos” desenvolvida durante o ano 1990 na Universidade Central “Marta Abreu” de Las Villas. O escopo da atual pesquisa, desenvolvida durante o ano 2015 na Universidade Cooperativa de Colômbia, é atualizar o sistema especialista desenvolvido no ano 1990. *Metodologia:* para o desenvolvimento do sistema especialista, usou-se a metodologia Common kads, que permite estruturar o conhecimento fazendo uma diferenciação entre o domínio da aplicação, a tarefa e a interferência, facilitando a reutilização de componentes. No processo de inferência, usa-se a direção de busca dirigida por objetivos, devido às características do conhecimento contido nas bases, nas quais o processo de inferência começa sem a existência de dados preliminares. *Resultados:* a nova versão do sistema melhora as inferências, oferece uma interface mais amigável e aumenta o conhecimento. *Conclusões:* a ampliação das bases de conhecimento, adaptadas a novas situações, incide na obtenção de melhores respostas e com maior fundamentação; a implementação do novo sistema sobre UCShell, versão 3.0 oferece uma grande melhora na interface, incluindo a possibilidade de oferecer imagens e vídeos durante o processo de inferência e admite bases de conhecimentos de qualquer tamanho e a facilidade de se trocar entre elas.

**Palavras chave:** engenharia reversa, inteligência artificial, plásticos, sistema especialista.

## 1. Introducción

Los sistemas expertos (SE) constituyen una rama de la inteligencia artificial que se desarrolló en la segunda mitad de los años sesenta del pasado siglo, y siguen la idea básica de usar un mecanismo de inferencia que actúa sobre una o varias bases de conocimientos. La experiencia humana se plasma en la base de conocimientos, de acuerdo con algún paradigma de representación del conocimiento [1].

Desde su surgimiento hasta la fecha, los sistemas expertos han proliferado en muchos campos del actuar humano; una muestra de esa afirmación son los análisis hechos por Liao [2] y Sahin [3]. El primero se enfoca en los sistemas desarrollados entre 1995 y el 2004, mientras el segundo muestra una panorámica que abarca el periodo entre 1998 y el 2010, y se centra en los sistemas expertos híbridos. Estos análisis toman en cuenta una significativa cantidad de trabajos publicados, en los cuales se aprecia la presencia de los sistemas expertos en diversas esferas de la vida humana actual.

El acelerado desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones en los últimos tiempos también ha impactado en el campo de los sistemas expertos y se pueden encontrar múltiples sistemas basados en las posibilidades que brinda la web [4-6]; el hecho de sus existencia en Internet permite que se pueda acceder a ellos desde distintas plataformas, que incluyen los teléfonos celulares.

Como una muestra de la expansión de los sistemas expertos, se puede analizar el trabajo de Martínez et al. [7], en el cual se proponen variadas técnicas que combinan el uso de sensores con redes neuronales como medios de predicción (con sus correspondientes métodos de aprendizaje), lo cual forma parte del sistema experto expuesto en ese trabajo. El presente artículo describe el SE Plástico, que constituye una modernización basada en una versión anterior. La primera versión se hizo en colaboración con la fábrica Industria Nacional Productora de Utensilios Domésticos (INPUD) [8] de la ciudad de Santa Clara, Cuba, y para realizarla se usó el sistema VP-Expert [9]. Hubo una versión posterior que se mejoró significativamente, al hacerse con el lenguaje Arity-Prolog [10].

El nuevo sistema puede ser de interés para cualquier fábrica que use plásticos en la elaboración de diferentes utensilios o medios y desee hacer ingeniería inversa sobre productos con características similares, no con el propósito de hacer copias,

sino para lograr una calidad igual o superior a la obtenida anteriormente. La ingeniería inversa permite obtener información acerca de algo que ya está hecho, ya sea un programa o un producto. Existen diversos sistemas que usan la ingeniería inversa combinada con los sistemas expertos, aunque este artículo no pretende hacer una revisión del estado del arte en ese campo, sí es importante citar algunos ejemplos recientes que muestran la actualidad del tema y se presentan a continuación.

Bianchiotti y Casas [11] realizaron un trabajo que se trazó el objetivo de actualizar programas con muchos años de existencia. Esos sistemas se conocen como *sistemas legados* y han ido pasando de generación en generación demostrando su eficiencia, pero muchas veces no tienen una documentación adecuada, usan técnicas de programación obsoletas o abusan de la utilización de variables globales; esto hace muy difícil el mantenimiento y otras veces no se dispone del código fuente. Como resultado importante del trabajo citado, se destaca la elaboración de una guía que puede usarse en otros sistemas legados para hacer ingeniería inversa, con el propósito de actualizarlos.

Como ejemplos del uso de la ingeniería inversa en el análisis de un producto, se puede hacer referencia al sitio Web Degate<sup>1</sup>, en el cual se brinda ayuda para explorar capas de imágenes de circuitos integrados. El sitio facilita el acceso a diversos documentos que tratan distintas aristas del tema y se fundamenta en una tesis de grado [12]. El sistema experto que se presenta en este artículo se traza el objetivo de determinar con qué tipo de plástico fue elaborado un producto dado.

## 2. Materiales y métodos

Según Chikofsky y Cros [13], la ingeniería inversa es un proceso en el que se hace un análisis de algún sistema, con el propósito de identificar sus componentes, así como las dependencias que existen entre ellos; el objetivo es saber acerca del diseño del sistema. El SE Plástico se traza la meta de conocer el tipo de plástico que se usó en la elaboración de un determinado producto. El análisis comienza a partir del conocimiento de la composición elemental de la muestra que se estudia.

1 Ver: <http://www.degate.org/>

El SE Plástico está conformado por nueve bases de conocimientos, que agrupan los materiales de acuerdo con su composición elemental:

- Carbono, hidrógeno y oxígeno (base cho.kbs).
- Carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (base chon.kbs).
- Carbono, hidrógeno, oxígeno y silicio (base cho-si.kbs).
- Carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre (base chns.kbs).
- Carbono, hidrógeno y nitrógeno (base chn.kbs).
- Carbono, hidrógeno y cloro (base chl.kbs).
- Carbono e hidrógeno (base ch.kbs).
- Carbono y flúor (base cf.kbs).
- Carbono, cloro y flúor (base cclf.kbs).

Durante la etapa de adquisición de los saberes, que se conoce como ingeniería del conocimiento [14] y se lleva a cabo entre el experto humano y el ingeniero del conocimiento, se confeccionaron diversas tablas que reflejan (de forma sintetizada) el conocimiento de los expertos. Esta etapa es bastante difícil porque los expertos no siempre saben cómo hacen el proceso para discernir entre diversas alternativas. Para realizar la ingeniería del conocimiento se usó la metodología CommonKADS, la cual permite estructurar el conocimiento al hacer una distinción entre el dominio, la tarea y la inferencia facilitando, además, la reutilización de componentes [15].

### 3. Resultados

La tabla 1, muestra uno de los resultados obtenidos durante el proceso de ingeniería del conocimiento. En este caso, está asociada a la base de conocimientos (BC) chon.kbs y sirve de muestra

para explicar el desarrollo de esta fase de elaboración del sistema.

Si las variables o atributos de la sección “Condiciones” de la tabla 1 (Reaccion\_a, Reaccion\_b, Reaccion\_c) tienen los valores especificados en la fila correspondiente, la variable de la sección “Conclusiones” (Tipo) será una poliamida (fila 1), un poliuretano (fila 2) o una resina de urea (fila 3).

Debe señalarse que, desde el punto de vista químico, los nombres de las variables no tienen ningún significado, pero desde el punto de vista computacional permiten asociar la descripción del experimento con la interfaz del usuario y con las reglas que conforman la base de conocimientos.

Para poder obtener las diversas tablas que plasman el conocimiento acerca del comportamiento de los plásticos, se hicieron diferentes entrevistas a los expertos y se analizó también su trabajo *in situ*. Durante esta etapa de formalización del conocimiento surgieron diversas dudas y confrontaciones de opiniones entre los expertos y después de obtenerse un consenso se formalizó el conocimiento en diferentes tablas, como en la 1 (algunas de ellas realmente grandes).

#### 3.1 El sistema SE Plástico

El sistema experto se implementó con la máquina de inferencia UCShell [16] versión 3.0 [17]. Las bases de conocimientos para ese sistema tienen cuatro partes o bloques sintácticamente definidos por una palabra clave:

- El primer bloque (opcional) se usa para declarar los atributos externos; son aquellos que deben conservar su valor cuando el sistema hace un cambio de una base de conocimiento a otra, o sea, es un enlace entre una base origen A y otra

**Tabla 1.** Pruebas para discernir entre tres tipos de plásticos (BC: chon.kbs)

Variables o atributos			
Condiciones			Conclusiones
Reaccion_a	Reaccion_b	Reaccion_c	Tipo
Débilmente alcalino.	Se disuelve sin desprendimiento de gas.	Se disuelve sin desprendimiento de gas.	Poliamida.
Neutro o débilmente ácido.	Es soluble como máximo a un 20 % y se precipita al enfriar.	Se disuelve con fuerte desprendimiento de CO <sub>2</sub> .	Poliuretano.
Débilmente alcalino.	Es soluble como máximo a un 20 % y se precipita al enfriar.	Se obtiene una solución marrón oscura.	Resina de urea.

Fuente: elaboración propia

base destino B. Por esta razón, es necesario especificar, explícitamente, qué valores de la base A deben mantenerse cuando el sistema se cambie a la base B. Este bloque comienza con la palabra reservada *External*. En el caso del sistema SE Plástico, el cambio se hace siempre desde la base general, donde se determina la composición elemental del material de muestra, hacia una de las nueve bases que son las que contienen el conocimiento en sí.

- El segundo bloque (opcional) contiene todos los atributos que el sistema puede preguntar a los usuarios y se encabeza con la palabra reservada *Asks*. La aparición de la palabra *Asks* marca el fin del bloque anterior.
- La tercera parte (opcional) contiene las reglas de producción que formalizan el conocimiento y comienza con la palabra reservada *Rules*. La palabra *Rules* marca el fin del bloque que le antecede.
- La última parte contiene el punto de entrada del sistema experto, o sea el lugar por donde comienza la ejecución. Este bloque se inicia con la palabra reservada *Actions* y finaliza con la palabra reservada *End* seguida por un punto (*End.*), que también marca el fin de la base de

conocimientos. La palabra *Actions* marca el fin del bloque que le precede, si existe.

### 3.1.1 Las reglas del sistema experto

Los atributos o variables que formalizan el conocimiento expresado en las tablas pueden ser inferidos (se denominan inferibles), hechos (tienen un valor) o preguntas (se nombran preguntables).

Una vez hechas las tablas, que expresan el conocimiento experto, se procede a la codificación de las reglas. UCSHELL usa el paradigma de representación del conocimiento conocido como “reglas de producción” [18], las cuales tienen la sintaxis general siguiente:

```
IF <Conjunto de condiciones> THEN <Conjunto de conclusiones>
La parte <Conjunto de condiciones> tiene la forma:
Variable1 <op de relación> Valorx AND | OR
Variable2 <op de relación> Valory AND | OR
...
Variablen <op de relación> Valorz
```

La figura 1 muestra la codificación del conocimiento formalizado en la tabla 1. Puede observarse que a cada fila de la tabla 1 le corresponde una regla en la base de conocimientos.

```
RULES /* Bloque de reglas */
// Regla 1
RULE 1
    IF
        Reaccion_a = 'Débilmente alcalino' AND
        Reaccion_b = 'Se disuelve sin desprendimiento de gas' AND
        Reaccion_c = 'Se disuelve sin desprendimiento de gas'
    THEN
        Tipo := 'Poliamida'
END; //Fin de la regla 1
// Regla 2
RULE 2
    IF
        Reaccion_a = 'Neutro o débilmente ácido' AND
        Reaccion_b = 'Es soluble como máximo a un 20 % y precipita al enfriar' AND
        Reaccion_c = 'Se disuelve con fuerte desprendimiento de CO2'
    THEN
        Tipo:= 'Poliuretano'
END; //Fin de la regla 2
// Regla 3
RULE 3
    IF
        Reaccion_a = 'Débilmente alcalino' AND
        Reaccion_b = 'Es soluble como máximo a un 20 % y precipita al enfriar' AND
        Reaccion_c = 'Se obtiene una solución marrón oscura'
    THEN
        Tipo:= 'Resina de Urea'
END; //Fin de la regla 3
```

**Figura 1.** Parte del bloque de reglas de la base chon.kbs

Fuente: elaboración propia

La traducción de la tabla 1 a la sintaxis de UCShell es casi directa, o sea una vez hecho el proceso de ingeniería del conocimiento es relativamente fácil codificar las reglas de las bases de conocimientos, lo cual es natural debido a que el valor de cualquier sistema experto está dado por el saber que acumula en sus bases y esa etapa de adquirir el conocimiento de los expertos humanos es la más difícil de realizar cuando se intenta elaborar un sistema nuevo. Esto sucede porque el conocimiento de las personas especializadas no está formalizado (se conoce como conocimiento privado) y forma parte de experiencias adquiridas a través de muchos años de trabajo.

### 3.1.2 Las preguntas del sistema experto

Los atributos de la parte <Conjunto de condiciones> de las reglas de UCShell pueden ser de cualquiera de los tres tipos (inferibles, hechos, preguntables), mientras que los atributos de la parte <Conjunto de conclusiones> solo pueden ser inferibles, o sea el atributo Tipo solamente puede ser inferible (él también podría aparecer en la sección de condiciones de otra regla, pero seguiría siendo inferible).

En el caso de la tabla 1 y las reglas derivadas de ella (figura 1), todos los atributos de su sección “Condiciones” son preguntables y por eso deben definirse las preguntas asociadas a esos atributos, las cuales se les formularán a los usuarios del sistema durante el proceso de inferencia.

La figura 2 muestra las preguntas relacionadas con esos atributos, cada una de ellas se encabeza por la palabra reservada *Ask* y puede tener asociadas las posibles respuestas, a través de la palabra reservada *Domain* o *Choices*, o simplemente no tener ninguna respuesta preestablecida.

### 3.1.3 Comienzo de la inferencia

El último de los bloques de una base de conocimientos para UCShell es el bloque de acciones que comienza por la palabra reservada *Actions*. Ese bloque contiene las instrucciones que deberá ejecutar la máquina de inferencia cuando se le ordena inferir algo sobre una base de conocimientos dada.

```

ACTIONS
    RESET ALL
    FIND Tipo
    ...
END.

```

**Figura 3.** Parte del bloque de acciones (bc: base chon.kbs)

Fuente: elaboración propia

En la figura 3 se muestra parte del bloque de acciones de la BC chon.kbs. La primera acción es dejar todas las variables sin valor (*RESET ALL*), después se ordena buscar el valor de la variable o atributo “Tipo”. Como ese atributo es inferible comenzará un proceso de búsqueda, dirigida por objetivos y usando una estrategia primero en

```

ASKS
    ASK Reaccion_a:
        'Caliente el material seco en un tubo de combustión conteniendo en la boca un '+'
        'papel de ph. ¿Cómo se comporta?'
        DOMAIN
            'Débilmente alcalino,' 'Neutro o débilmente ácido'
    ASK Reaccion_b:
        'Al calentar el material a reflujo con ácido clorhídrico concentrado, se observa que:'
        domain
            'Se disuelve sin desprendimiento de gas,'
            'Es soluble como máximo a un 20 % y precipita al enfriar,'
            'Se obtiene una solución color marrón'
    ASK Reaccion_c:
        'Después de calentar la sustancia como máximo una hora a reflujo con ácido'+
        'sulfúrico al 60 %. Se observa que:'
        DOMAIN
            'Se disuelve sin desprendimiento de gas,'
            'Se disuelve con fuerte desprendimiento de co2,'
            'Se obtiene una solución marrón oscura'
        ...

```

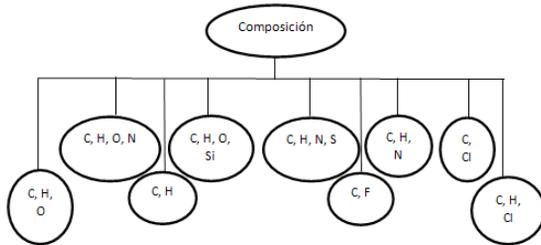
**Figura 2.** Parte del bloque de atributos que se preguntan (bc: chon.kbs)

Fuente: elaboración propia

profundidad, que finalizará cuando se encuentre el tipo de plástico o se agoten todas las posibilidades sin obtener resultados.

### 3.2 Árbol de conocimiento

La figura 4 muestra la estructura general del sistema experto de Plástico, que incluye las nueve bases de conocimientos (más la base Composición). Una vez que se determina la composición elemental de la muestra de plástico que se analice, el sistema se cambia de esa base (que es muy pequeña) hacia la base específica. Los atributos que deben conservar sus valores de una base a otra se tienen que declarar en el bloque *External*.

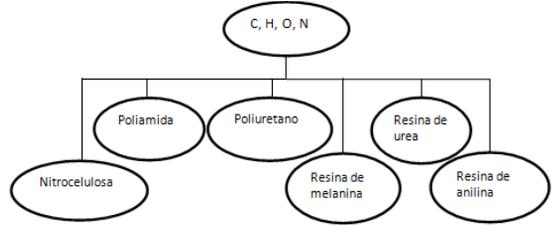


**Figura 4.** Árbol de conocimiento de se Plástico  
Fuente: elaboración propia

La base de conocimientos que contiene las reglas para identificar los plásticos con composición elemental — carbono, hidrógeno y oxígeno (cho. kbs) — es la mayor de las nueve y contiene una apreciable cantidad de pruebas para determinar el tipo de material de la muestra que se analice, por eso las tablas que plasman el resultado de esa etapa

de ingeniería del conocimiento son considerablemente grandes.

La figura 5 muestra parte del árbol de conocimientos de la base chon.kbs (solo el primer nivel).



**Figura 5.** Árbol de conocimiento de la base chon.kbs (solo el primer nivel)  
Fuente: elaboración propia

Los árboles de conocimiento son útiles para la comunicación entre el experto humano y el ingeniero del conocimiento, porque permiten presentar de forma sucinta la idea que tiene el ingeniero del conocimiento de lo que le ha expresado el experto, y se constituyen en un medio expresivo para poder perfeccionar el sistema; también deben formar parte de la documentación del sistema, lo que facilitará los mantenimientos en el futuro.

### 3.3 Algunas consideraciones acerca de UCShell

No es objetivo de este trabajo describir todas las facilidades de UCShell 3.0 pero algunas de ellas se analizaron de forma breve anteriormente. La figura 6 permite apreciar determinadas posibilidades que se brindan en la versión actual y que en

```

EXTERNAL // Bloque de variables externas (separadas por comas)
ASKS // Comienza bloque de preguntas
ASK Variable: 'Texto de la pregunta'
 [ DOMAIN | CHOICE ] // Posibles respuestas (si existen)
RULES // Comienza bloque de reglas
RULE 1
  IF Var1 <operador > 'Cadena' | número | variable AND | OR
    Var2 <operador > 'Cadena' | número | variable
  THEN
    Var3 := 'Valor'
    ACTIONS //Acciones de la regla. Se puede usar cualquier sentencia
  END;
ACTIONS // Comienza bloque de acciones o punto de entrada
 [FIND | FINDFORWARD] Var3
END. // Finaliza la base de conocimientos
    
```

**Figura 6.** Modelo de base de conocimientos generado por UCShell  
Fuente: generada por UCShell

general son las siguientes: posibilidad de asociar a cada regla un conjunto de acciones que se llevarán a cabo cuando se cumpla la regla, búsqueda dirigida por datos (sentencia `FINDFORWARD`) o por objetivos (sentencia `FIND`), asociar posibles respuestas a las preguntas (opciones `DOMAIN`, `CHOICE`), uso de las conectivas lógicas `AND` u `OR` en la parte de las condiciones de las reglas, cálculo de incertidumbre, cálculo matemático básico (operadores de suma, resta, división, división entera y multiplicación), uso de funciones aritméticas, monitor de puesta a punto para usarlo en la etapa de implementación de los sistemas expertos y también utilizado con fines docentes, posibilidad de insertar partes de las bases de conocimiento para después editarlas y adaptarlas a necesidades propias, explicaciones a las preguntas por qué y cómo; esta última usando una explicación editada por el ingeniero de conocimiento u otra generada por el sistema (la cual es útil para la puesta a punto), etc.

## 4. Conclusiones

El sistema experto `SE Plástico` utiliza técnicas de ingeniería inversa para inferir la identificación de un objeto plástico y es una versión actualizada de un sistema anterior que no se difundió adecuadamente (solo se usó en una fábrica).

La nueva versión incluye algunas mejoras, entre las que se deben mencionar las siguientes:

- Se han ampliado sus bases de conocimientos, a partir de nuevas investigaciones y estudios más actuales.
- Se implementa sobre `ucshell` versión 3.0, la cual proporciona:
  - ♦ Una mejoría notable en la interfaz, que incluye la posibilidad de ofrecer imágenes y vídeos durante el proceso de inferencia.
  - ♦ Admite bases de conocimientos de cualquier tamaño y la posibilidad de cambiarse entre ellas.

El sistema `SE Plástico` se usó durante un tiempo considerable en la industria donde se hizo la investigación y mostró buenos resultados en la identificación de diversos utensilios. Hoy en día prácticamente no se usa en esa fábrica, precisamente

porque ya tienen determinados los plásticos con los que confeccionan sus producciones actuales.

`UCShell` también se usa en la enseñanza y en ese caso las bases de `SE Plástico` juegan un rol fundamental y se constituyen en ejemplos prácticos; de hecho, el sistema se distribuye con ellas y se han usado en diversas universidades cubanas (Central de Las Villas, Sancti Spiritus y Granma), de Colombia (Universidad Cooperativa) y México (Universidad de Guadalajara e Instituto Superior Tecnológico de Toluca).

## 5. Discusión

Es posible realizar otros sistemas que sigan las ideas que se analizan en este artículo, posiblemente con la misma máquina de inferencia que constantemente se ha estado actualizando y que ahora incluye las direcciones de búsquedas dirigidas por objetivos y por datos.

Para analizar la importancia del sistema discutido se hizo una búsqueda en Internet acerca de sistemas similares, o sea, de sistemas expertos que usen ingeniería inversa para identificar plásticos a partir de ensayos químicos. Los investigadores encontraron algunos sistemas expertos que se usan en la industria del plástico, pero ninguno de ellos está concebido para identificar estos materiales. Para hacer la búsqueda se usaron los idiomas español, inglés, ruso y portugués.

Los investigadores consideran que se pueden incluir nuevas reglas al sistema siempre que los expertos en la materia lo consideren necesario y por ese motivo se deja la puerta abierta a sugerencias en ese sentido.

## Referencias

- [1] R. L. Brachman and H. J. Levesque, *Knowledge Representation and Reasoning*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 2004.
- [2] S. H. Liao, "Expert system methodologies and applications - a decade review from 1995 to 2004", *Expert Systems with Applications*, vol. 28, no. 1, pp. 93-103, enero 2005 [en línea]. Disponible en: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0957417404000934>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2004.08.003>
- [3] S. Sahin, M.R. Tolun and R. Hassanpou, "Hybrid expert systems: A survey of current approaches and

- applications”, *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 4, pp. 4609-4617, marzo 2012 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411012619>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.130>
- [4] J. Efstathiou, A. Calinescu and G. Blackburn, “A web-based expert system to assess the complexity of manufacturing organizations”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 18, no. 3-4, pp. 305-311, ener.-agos., 2002 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584502000224>
- [5] N. Dunstan, “Generating domain-specific web-based expert systems”, *Expert Systems with Applications*, vol. 35, no. 3, pp. 686-690, noviembre 2008 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417407002801>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.048>
- [6] Y. Duana, J. S. Edward, M. X. Xuc, “Web-based expert systems: benefits and challenges”, *Information & Management*, vol. 42, no. 6, pp. 799-811, septiembre 2005 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720604001193>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.im.2004.08.005>
- [7] V. Martínez-Martínez, F. J. Gómez-Gil, J. Gómez-Gil and R. Ruiz-González, “An Artificial Neural Network based expert system fitted with Genetic Algorithms for detecting the status of several rotary components in agro-industrial machines using a single vibration signal”, *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 17-18, pp. 6433-6441, octubre 2015 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417415002481>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.018>
- [8] EcuRed, “Industria Nacional Productora de Utensilios Domésticos (INPUD)”, 2015 [en línea]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/INPUD>. Último acceso: 28, noviembre, 2015.
- [9] J. Schmuller y M. Warkentin, “VP-Expert 3.0: a fine shell improves with age”, *Journal PC AI*, vol. 7, no. 5, pp. 33-36, septiembre-octubre 1993 [en línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/19537216/VP-Expert\\_3.0\\_a\\_fine\\_shell\\_improves\\_with\\_age](https://www.academia.edu/19537216/VP-Expert_3.0_a_fine_shell_improves_with_age)
- [10] P. Gabel, “Peter Gabel. Interdisciplinary investigations into applied cognitive science”, 9, marzo 2013 [en línea]. Disponible en: <http://peter-gabel.com/content/arityprolog32>. Último acceso: 28, noviembre 2015.
- [11] F. Bianchiotti y S. Casas, “Guía para la reingeniería de sistemas legados: una experiencia práctica y real”, *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, vol 2, no. 2, pp. 99-106, abril 2014 [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.ub.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/6249>
- [12] M. Schobert, “Softwaregestütztes Reverse-engineering von Logik-gattern in Integrierten schaltkreisen”, 2011 [en línea]. Disponible en: <http://www.degate.org/documentation/diplomarbeit.pdf>. Último acceso: 2, marzo 2016.
- [13] E. J. Chikofsky y E. J. Cross, “Reverse engineering and design recovery: a taxonomy”, *Software, IEEE*, vol. 7, no. 1, pp. 13-17, enero 1990 [en línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=43044&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel1%2F52%2F1647%2F00043044.pdf%3Farnumber%3D43044>
- [14] S.L. Creen y M. Kendal, *An Introduction to Knowledge Engineering*, London, Reino Unido: Springer-Verlag, 2007.
- [15] N. R. Shadbolt y P. R. Smart, “Knowledge Elicitation”, in *Evaluation of Human Work*, 4th ed. Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press. T&E, 2015.
- [16] M. G. Lezcano-Brito. “Ambientes de aprendizaje por descubrimiento para la disciplina Inteligencia Artificial”, Disertación Ph.D., Dept. C. Computación. U. Central de Las Villas, Santa Clara, 1998.
- [17] M. G. Lezcano-Brito, *Desarrollando sistemas expertos con UCShell*, Santa Clara, Cuba: Felix Varela, 2012.
- [18] I. Bratko, *Prolog Programming for Artificial Intelligence*, Canadá: Pearson Education, 2011.