

SEBREI: Sistema Experto basado en reglas para la recomendación de equipos de impresión

Trabajo final de la asignatura Introducción a la Inteligencia Artificial de la carrera
Licenciatura en Ciencias de la Computación.

Erica Vidal

Fac. de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Departamento de Ciencias de la Computación
Pellegrini 250, Rosario, Santa Fe, Argentina
ericavidal@gmail.com

ABSTRACT

La elección de una determinada tecnología de impresión a la hora de comprar está sujeta a numerosas cuestiones relacionadas con el uso que se le va a dar al equipo, la velocidad de respuesta deseada, la calidad esperada, factores económicos, etc. Requiere tiempo y esfuerzo investigar las tecnologías disponibles en el mercado y decidir en base a las características que posee cada equipo, aquel que resulte más conveniente según las necesidades.

Las heurísticas usadas por un vendedor de equipos de impresión pueden ser capturadas en un sistema experto basado en reglas que emule el razonamiento seguido por el especialista. El sistema SEBREI integra la tecnología de sistema de experto con una interfaz web, utilizando una base de datos para ofrecer la posibilidad de mantener la base de conocimiento actualizada e incorporar nuevas tecnologías.

1. SISTEMAS EXPERTOS

Un experto es una persona que tiene experiencia en cierta área, tiene habilidades que la mayoría no y/o puede resolver problemas que la gran parte de las personas no pueden, o lo puede hacer de una manera más eficiente.

Los términos sistema experto, sistema basado en conocimiento o sistema experto basado en conocimiento a menudo se usan como sinónimos.

Los sistemas expertos son una rama de la Inteligencia Artificial que hace un amplio uso del conocimiento especializado para resolver problemas como un especialista humano.[1] Se los puede definir como una clase de programas que son capaces de: aconsejar, categorizar, analizar, consultar, diseñar, diagnosticar, explicar, explorar, interpretar, justificar,

planificar, son en suma, programas capaces de manejar problemas que normalmente requieren para su resolución la intervención humana especializada.[2]

El conocimiento en un sistema experto puede representar experiencia o conocimiento que está disponible en libros, revistas y personas.

Todo sistema experto está especializado en cierto campo o área del conocimiento. El área de conocimiento que es capturado por un sistema experto se llama *dominio de tarea* o *dominio de aplicación*.

1.1 Estructura básica de un Sistema Experto

La estructura básica de un sistema experto consta de una *base de conocimiento* que es el conjunto de hechos y heurísticas debidamente almacenadas y un *motor de inferencias* que es el programa que gestiona y controla la base de conocimiento. En un sistema experto la base de conocimiento y el motor de inferencias se encuentran separados.

En la figura 1 se ilustra la estructura básica de un sistema experto.

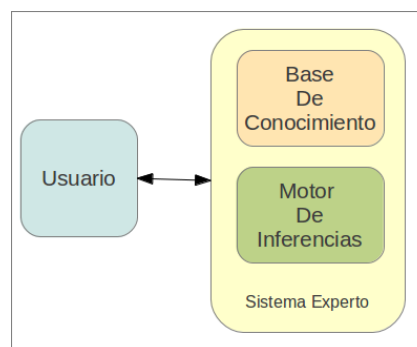


Figure 1: Estructura básica de un sistema experto.

La memoria de trabajo también llamada base o lista de hechos (facts list) es el conjunto de datos de un determinado problema y se almacena en forma separada de la base de conocimiento. El módulo de explicación o justificación explica el razonamiento utilizado por el sistema para llegar a

una conclusión.

1.2 Representación del conocimiento

“En IA, la representación del conocimiento es una combinación de estructura de datos y procedimientos de interpretación, que si se usan de una forma adecuada en un programa se tendrá un comportamiento experto.”[3]

La representación del conocimiento formaliza y ordena el conocimiento. Existen varios sistemas para la representación del conocimiento. Entre los principales sistemas se tienen:

- Formalismos lógicos (lógica proposicional, lógica de primer orden, lógicas multivaluadas).
- Sistemas de producción.
- Formalismos estructurados (Redes semánticas, Frames, Objetos y Ontologías).

1.2.1 Sistemas de Producción

Los sistemas de producción están compuestos de un conjunto de reglas de producción. Una regla de producción es una sentencia que tiene la siguiente forma:

SI <antecedente> ENTONCES <consecuente>

donde el antecedente y el consecuente son frases en lenguaje coloquial. Los antecedentes son las condiciones y los consecuentes las conclusiones, acciones o hipótesis. Por ejemplo, la siguiente regla es una regla de producción.

SI se quiere un equipo para imprimir y escanear
ENTONCES se recomienda una multifunción.

El nombre de producción se debe al hecho de que el consecuente describe el estado de cosas que resulta como producto de que el antecedente sea satisfecho.

Un sistema basado en reglas se define como una colección consistente de reglas del tipo antecedente-consecuente, una base de hechos y un motor de inferencias. [4]

1.3 Motor de inferencia

El motor de inferencia de un sistema experto usa los datos (hechos o evidencia) y el conocimiento (el conjunto de reglas almacenado en la base de conocimiento) para obtener nuevas conclusiones o hechos mediante el uso de reglas de inferencia.

Una regla de inferencia es un esquema para construir inferencias válidas. Estos esquemas establecen relaciones sintácticas entre un conjunto de fórmulas llamados premisas y una aserción llamada conclusión. Ejemplos de reglas de inferencias clásicas son Modus Ponens y Modus Tollens.

1.3.1 Agenda

La lista de reglas que se encuentran en la base de conocimiento que son potencialmente ejecutables se almacenan en lo que

se denomina *agenda*. Una regla es potencialmente ejecutable si su parte izquierda se satisface. Al conjunto de reglas que pueden ser ejecutadas se las denomina *grupo de conflicto* de reglas y al proceso de ordenarlas para ser ejecutadas se lo denomina *resolución de conflictos*.

1.3.2 El algoritmo de Rete

El motor de inferencias debe decidir qué regla disparar según el contexto, el componente del motor de inferencia que *matchea* (compara patrones) hechos con patrones en reglas para determinar qué reglas tienen sus condiciones satisfechas deberá buscar entre posiblemente miles de reglas. Existe un conjunto de algoritmos que abordan esta problemática de manera muy eficiente, el más conocido es el algoritmo de Rete.

Los lenguajes basados en reglas tienen lo que se llama redundancia temporal, que significa que en cada ciclo de ejecución sólo pocos hechos se agregan a la lista de hechos y los mismos afectan a pocas reglas; por lo que el sistema cambia muy lentamente. El algoritmo de Rete toma ventaja de esto, salvando el estado del matching ciclo a ciclo y reconstruyendo los cambios en el estado solo para los cambios que ocurrieron en la fact list.

1.3.3 Encadenamientos

Un grupo de múltiples inferencias que conecta un problema con una solución se llama *encadenamiento* (chain).

Un encadenamiento que va desde los hechos hacia un objetivo o conclusión se llama encadenamiento hacia adelante o *Forward Chaining*, mientras que un encadenamiento que va desde una hipótesis u objetivo hacia los hechos que soportan dicha hipótesis se llama encadenamiento hacia atrás. *Backward Chaining*.

Debido a que los datos determinan qué reglas se usarán, el Forward Chaining es llamado inferencia data-driven en contraste con inferencia goal-driven referido al Backward Chaining.

1.4 Metodología para el desarrollo de sistemas expertos

“Desde los primeros Sistemas Expertos operativos desarrollados en la Universidad de Standford en la década de los ’60 hasta los que hoy se desarrollan comercialmente, su proceso de construcción ha evolucionado desde lo artesanal en aquellos días hasta un sólido enfoque metodológico en la actualidad.”[2]

A través de la bibliografía consultada sobre la construcción de sistemas expertos, se ha observado que al igual que los modelos tradicionales de desarrollo de software, que se han propuesto para controlar el ciclo de vida del software, (como el modelo de cascada, el modelo incremental, el modelo de espiral, etc) también se han desarrollado varias metodologías para la producción de sistemas expertos.[1],[5]

El ciclo de vida del software o “los modelos de procesos son en realidad meta metodologías porque determinan el orden y la duración en el cual los métodos de software comunes

son aplicados. Los métodos tradicionales de desarrollo de software muestran procedimientos específicos para llevar a cabo una las siguientes etapas”[1]¹.

- Ingeniería de requerimientos.
- Diseño.
- Implementación.
- Evaluación (verificación + validación).
- Documentación.
- Mantenimiento.

Además de estas, el desarrollo de un sistema experto debe incluir las etapas de

- Adquisición y representación del conocimiento
- Selección de las herramientas de desarrollo

1.5 Adquisición del conocimiento

Uno de los aspectos más importantes en el proceso de construcción de un sistema informático basado en el conocimiento es el de la adquisición y validación de conocimiento.

“Dentro de los métodos de adquisición de conocimiento se pueden citar los métodos basados en interacción humana tales como tareas familiares, entrevistas, tareas de proceso restringido y tareas de información limitada y los basados en técnicas de aprendizaje automático.”[2]

En [5], el autor en el desarrollo de su metodología IDEAL para el desarrollo de sistemas basados en conocimiento, explora, recopila y analiza varias técnicas para la adquisición del conocimiento y la elección adecuada de su representación.

En reglas generales la adquisición del conocimiento consta de identificar las fuentes del conocimiento, extraer el conocimiento de dichas fuentes, ordenarlo y construir definiciones claves del dominio de aplicación.

1.6 Herramientas

Las herramientas informáticas utilizadas para la realización de sistemas expertos pueden ser lenguajes de alto nivel (C, JAVA), ambientes especializados para aplicaciones de inteligencia artificial (Common LISP, PROLOG) o ambientes especializados para la creación de sistemas expertos que en la literatura se suelen denominar shells.[6]

Un shell es un programa preparado para la generación de sistemas expertos, incorporan un motor de inferencia y el ingeniero del conocimiento se limita a crear la base de conocimiento. CLIPS es un ejemplo de shell o entorno de desarrollo para la producción de sistemas expertos. En [7] hay una extensa referencia a distintas herramientas y shells disponibles hacia la década de los '90.

¹pag. 318-319

LISP: (LISt Procesing) Inicialmente instrumentado de 1958 a 1960 por Mc Carthy, basándose en la lógica matemática. Hacia mediados de la década del 80 el 95% de los programas en IA estaban escritos en LISP. [8]²

Common LISP: Durante los años 1980 y 1990, fue hecho un gran esfuerzo para unificar los numerosos dialectos del Lisp en un solo lenguaje (más notablemente, InterLisp, Maclisp, ZetaLisp, MetaLisp, y Franz Lisp). El nuevo lenguaje, Common Lisp, fue esencialmente un subconjunto compatible de los dialectos que reemplazó. En 1994, la ANSI publicó el estándar del Common Lisp, “ANSI X3.226-1994 Information Technology Programming Language Common Lisp”. Common Lisp es un lenguaje multi-paradigma de propósitos generales. Soporta una combinación de paradigmas de programación como procedimental (imperativo), funcional, y orientada a objetos.

PROLOG (PROgrammation en LOGique) es un lenguaje de programación lógico e interpretado.

CLIPS (C Language Integrated Production System) es una herramienta para el desarrollo de sistemas expertos creada por la Software Technology Branch, NASA / Lyndon B. Johnson Space Center. Los orígenes de CLIPS se remontan a 1984. En la actualidad, entre los paradigmas de programación que soporta CLIPS se encuentran la Programación lógica, la Programación imperativa y la Programación orientada a objetos. Aunque ahora es de dominio público (license public domain), aún es actualizado y mantenido por su autor original, Gary Riley. Permite representar reglas de producción y frames. El motor de inferencias es de tipo Forward Chaining, y hay varias formas de resolución de conflicto (depth, breadth, LEX, MEA, complexity, simplicity y random). Está escrito en C, por lo que es portable a varios sistemas operativos. En la actualidad se encuentra en su versión 6.3.

Existen derivados de CLIPS para ser usados en otros lenguajes como por ejemplo:

- JESS: implementación de CLIPS en Java+.
- FuzzyCLIPS: incorpora a CLIPS la posibilidad de usar razonamiento difuso.
- CLIPSMM: una interfaz libre de CLIPS con C++.
- PHLIPS: extensión para PHP. (Licencia PHP V3)
- PyCLIPS: interfaz libre para Python (utilizada en este trabajo)(Licencia (LGPL)).
- CLIPSNET: librería de C#.

Hay una extensa lista de softwares y variantes derivadas de Clips y aplicaciones desarrolladas con Clips en el sitio web de la herramienta³.

SOAR (State, Operator And Result) Soar es una arquitectura general de desarrollo de agentes inteligentes. Es

²pag. 33

³<http://clipsrules.sourceforge.net/OtherWeb.html>

usada tanto por investigadores de inteligencia artificial como de ciencias cognitivas para una variedad de tareas. SOAR se usa desde 1983 y en la actualidad ha evolucionado hasta su versión actual 9.3. Se distribuye bajo licencia BSD.

References

- [1] Giarratano, Joseph; Riley, Gary. *Sistemas Expertos, Principios y Programación*. PWS Publishing Company, third edition, 1998.
- [2] García Martínez, Ramon; Britos, Paola Verónica. *Ingeniería de Sistemas Expertos*. Nueva Librería, 2004.
- [3] Feigenbaum, Edward A. ; Barr, Avron. *The Handbook of Artificial Intelligence*. Stanford, California, HeurisTech Press; Los Altos, California, W. Kaufmann Inc., 1982.
- [4] Waterman, D. A. *User-Oriented System for capturing Expertise: A rule based Aproach*. Edingburg University Press, 1984.
- [5] Carrillo Verdún, José Domingo. *Metodología para el desarrollo de sistemas expertos*. PhD thesis, 1987.
- [6] Cammarata, Silvio. *Sistemi Esperti: teorie, metodi, strumenti tecnici*. Milano, ETAS Libri, 1987.
- [7] Bourbakis, N.G. *Knowledge Engineering Shells: Systems and Techniques*. Advanced Series on Artificial Intelligence. World Scientific, 1993.
- [8] Charniak, Eugene; McDermott, Drew. *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, 1985.

DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

La elección de una determinada tecnología de impresión a la hora de comprar está sujeta a numerosas cuestiones relacionadas con el uso que se le va a dar al equipo, la velocidad de respuesta deseada, la calidad esperada, factores económicos, etc. Requiere tiempo y esfuerzo investigar las tecnologías disponibles en el mercado y decidir en base a las características que posee cada equipo, aquel que resulte más conveniente según las necesidades.

Los sitios web de las diferentes marcas de impresión a menudo preclasifican sus productos para ayudar al cliente a encontrar el equipo que se necesita, otros simplemente listan los productos disponibles. En todos los casos, el cliente debe saber qué está buscando. Para facilitar la tarea de elección, lo más común es consultar con un vendedor competente en la materia.

1.1 Objetivos

El principal objetivo del presente trabajo es diseñar y desarrollar un Sistema Experto online que emule un vendedor de sistemas de impresión, que aconseja a un cliente sobre las características necesarias en impresora o multifunción de acuerdo a las necesidades que el cliente exprese tener, y en base a las características recomendadas, ofrezca de un conjunto de productos disponibles aquellos que más se ajusten.

1.2 Requerimientos generales

1.2.1 Uso

El sistema debe recomendar los equipos de impresión que más se ajusten a las necesidades del cliente. Para determinar las necesidades del cliente el sistema se vale de preguntas en español. El sistema debe explicar las razones de sus recomendaciones.

1.2.2 Actualización y Mantenimiento

El sistema debe permitir a un usuario autenticado agregar nuevos equipos o modificar los ya existentes. También se debe permitir agregar o modificar las características técnicas posibles de los equipos de impresión.

2. ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO

2.1 Fuentes de conocimiento

La adquisición del conocimiento se llevó a cabo consultando las especificaciones técnicas publicadas por los fabricantes de equipos de impresión y a través de, las interacciones con un experto en el rubro de venta de equipos de impresión para oficina y el hogar, la página web de la empresa del experto⁴ y la web de varias marcas de impresoras y multifunción^{5, 6, 7, 8}. También se consultaron foros, noticias de tecnología y recomendaciones online publicadas por expertos en medios digitales[1],[2],[3], [4].

⁴<http://www.jeanmco.com.ar>

⁵<http://www8.hp.com>

⁶<http://global.latin.epson.com/>

⁷<http://www.xerox.com>

⁸<http://www.brother.es/>

2.2 Definiciones y conceptos clave del dominio de tarea

2.2.1 Impresora - Multifunción:

Una impresora es un periférico de ordenador que permite producir una gama permanente de textos o gráficos de documentos almacenados en formato electrónico, imprimiéndolos en medios físicos, normalmente en papel o transparencias, utilizando cartuchos de tinta o tecnología láser. Si además de imprimir el equipo cuenta con un escáner y/o fax incorporados, el equipo se denomina multifunción.

2.2.2 Funciones:

Una impresora posee la función de imprimir, pero si el equipo es una multifunción significa que además posee una o más de las siguientes funciones: escanear, copiar, envío de fax, envío digital. El envío digital es la capacidad enviar por mail un documento digital que el equipo tenga en memoria, por lo general como resultado de haber escaneado algo.

2.2.3 Tecnologías de impresión:

Matriz de punto. Las impresoras de matriz de puntos usan un conjunto de agujas de cabeza redonda que presionan una cinta entintada contra una página. Las agujas (por lo general 9 o 24) están dispuestas en una cuadrícula rectangular llamada matriz; diferentes combinaciones de agujas forman los distintos caracteres e imágenes. Siguen siendo las únicas capaces de imprimir en formulario continuo. No procesan los documentos una página a la vez. En su lugar, trabajan principalmente con un flujo de caracteres ASCII hasta una línea a la vez y, por lo tanto, requieren de buffers de memoria muy reducidos. Como resultado, su velocidad se mide en caracteres por segundo (cps) en vez de en páginas por minuto.

Inyección de tinta. Las impresoras de inyección de tinta tienen boquillas diminutas situadas en lo que se llama cabezal de impresión, que esparcen tinta especialmente formulada sobre una página. Existen dos métodos de impresión con inyección de tinta, uno es térmico como la que usa la línea Bubblejet de Canon y HP, en los que diminutos elementos calentadores son usados para expulsar gotitas de tinta desde las boquillas del cabezal. El otro método utiliza la tecnología piezoeléctrica desarrollada por Epson.

Láser:. Las impresoras láser funcionan creando una imagen electrostática de una página completa sobre un tambor fotosensible con un haz de luz láser. Cuando se aplica al tambor el polvo ultrafino de color, denominado tóner, éste se adhiere sólo a las áreas sensibilizadas correspondientes a las letras o imágenes sobre la página. El tambor gira y se presiona contra una hoja de papel, transfiriendo el tóner a la página y creando la imagen. Esta tecnología es similar a la que utilizan las fotocopadoras. Muchas de las llamadas impresoras láser son actualmente del tipo LED. Estas impresoras reemplazan el haz de luz láser con una disposición fija de diodos emisores de luz (LEDs) para crear la imagen; por lo demás, son similares en desempeño aunque más económicas.

Tinta Sólida: Las impresoras de tinta sólida son impresoras de página completa que usan varillas de tinta encerada sólida en un proceso "phase-change" (cambio de fase). Trabajan licuando las varillas en depósitos, y luego volcando la

tinta en un tambor de transferencia, desde donde es fusionada en frío en el papel en una sola pasada. Es una tecnología exclusiva de Xerox.

Sublimación de tinta: Las impresoras de sublimación de tinta son dispositivos especializados ampliamente usados en aplicaciones fotográficas y de artes gráficas. Estas impresoras trabajan calentando la tinta hasta convertirla en gas. El elemento térmico puede generar diferentes temperaturas, lo que permite controlar la cantidad de tinta que es ubicada en una mancha. En la práctica, esto significa que el color es aplicado como un tono continuo más que como puntos. Un color por vez es depositado en toda la hoja, comenzando con el amarillo y terminando con el negro. La sublimación de tinta requiere de un papel especial particularmente caro, y los tintes están diseñados para difuminarse en la superficie del papel, mezclándose para crear sombras de colores precisas.

Móvil: Las impresoras portátiles suministran muchos de los recursos que ofrecen sus similares, pero son lo suficientemente ligeras como para llevarlas a cualquier parte. Por lo general incluyen una batería recargable, y pueden ser térmicas o a inyección de tinta.

2.2.4 Velocidad de impresión:

La velocidad de una impresora suele medirse con el parámetro *ppm* (páginas por minuto), es decir, la cantidad de páginas que puede imprimir en un minuto en determinadas condiciones. Otro parámetro que se utiliza es el de *cps* (caracteres por segundo) adecuado para las impresoras matriciales que aún se fabrican. La velocidad exacta varía según la configuración del sistema, la aplicación de software, el driver y la complejidad del documento. Para poder comparar impresoras de distintos fabricantes basándose en las ppm se definió el estándar ISO/IEC 24734:2009 [5] aplicables tanto a impresoras como multifunciones que pueden imprimir en formato A4.

2.2.5 Calidad de impresión:

Uno de los determinantes de la calidad de la impresión realizada, es la resolución que se usa para describir la agudeza y claridad de la salida impresa. La resolución de impresión se mide en dpi (dots per inch) o en español, ppp (puntos por pulgada). Una resolución de “300 dpi” se refiere a que en cada pulgada (2.54 cm) cuadrada, la impresora puede situar 300 puntos horizontales y 300 verticales. Una expresión del tipo “600 x 300 dpi”, significa que el primer valor se asume a la línea horizontal y el segundo a la vertical. Otro determinante de la calidad de impresión es el número de niveles o graduaciones que pueden ser impresos por punto, una técnica de capas de color que hace que la oscilación en los gráficos y fotografías sea más difícil de ver. Las impresoras sin niveles de impresión por punto, imprimen cada punto de color en una de sólo dos intensidades (encendido o apagado), con tinta cian, magenta, amarilla o negra. Pueden combinarlas para crear tintas roja, verde y morada, y pueden crear la ilusión de otros colores al distribuir puntos de distintos colores en el papel (cada color se logra siguiendo un patrón determinado). La impresión de multinivel hace posibles más intensidades para cada punto que se imprime, así permite que la impresora utilice menos puntos para crear colores esfumados y hace que sea más difícil ver los patrones.

Máquinas con la misma resolución pueden ofrecer resultados dispares, porque hay que tener en cuenta el tamaño de las gotas que generarán esos puntos por pulgada y ésta varía según la tecnología empleada para llevar a cabo la impresión. Las gotas de tinta se miden en picolitros (1 picolitro es la billonésima parte de un litro 10^{-12}).

2.2.6 Memoria:

La mayoría de las impresoras contienen una cantidad de memoria para almacenar parte de la información que se les va enviando, de forma que la computadora no tiene que estar esperando a la impresora.

2.2.7 Conectividad / Interfaces:

La conectividad o conexión refiere a la forma en que la impresora se comunica con el medio, mientras que las interfaces son los conectores que permiten la existencia de una conexión. La forma más antigua de conexión era mediante puerto serie en donde la transferencia se hacía bit a bit, permitía distancias largas con velocidades lentas que no superaban los 19.200 bytes/segundo. Actualmente una de las formas de conexión puede establecerse mediante puerto paralelo en la que las transferencias eran byte a byte permitiendo 8 conexiones paralelas consiguiendo una velocidad más rápida entre los 0.5 MB/segundo hasta los 4MB/segundo. La longitud del cable que une la impresora con el computador o print server no puede ser mayor a 2 metros.

Otra método de conexión más actual es por medio de puertos USB (Universal Serial Bus).

A algunas impresoras se las puede conectar poniéndolas en red Ethernet mediante conexiones RJ 45 basadas en el estándar IEEE 802.3 o vía wifi, mediante el protocolo IEEE 802.11. También como forma de conexión sin cables es a través de Bluetooth.

Los equipos que pueden enviar fax cuentan con una interfaz RJ 11 para poder ser conectados a la línea telefónica.

Existe otro tipo de conexión que se denomina directa y está relacionado con las interfaces para conectar pendrives, tarjetas de memoria o cámaras fotográficas sin la intervención de la computadora.

2.2.8 Lenguajes de descripción de páginas:

Hace unos años el texto a imprimir en una impresora era enviado en código ASCII con un carácter indicando bold, itálica, tamaño, etc; y los gráficos eran producidos línea por línea. El problema es que este proceso era muy dependiente del dispositivo y los caracteres raramente estaban en la misma posición con que, aparecían en pantalla. Actualmente se usa un lenguaje de descripción de página (PDL), el cual describe el formato de las páginas, la colocación del texto y los elementos gráficos como mapas de bits o como objetos vectoriales.

Existen muy variados PDLs⁹, los más conocidos son PCL¹⁰ de Hewlett Packard y Postscript de Adobe.

⁹http://www.undocprint.org/formats/page_description_languages

¹⁰Printer Command Language.

Postscript fue uno de los primeros PDL estándar y multi-plataforma; describe las páginas en forma vectorial en outline, las cuales son enviadas a la impresora para ser rasterizadas¹¹ en el mismo dispositivo.

PCL es un lenguaje de descripción de página desarrollado por Hewlett-Packard, a principios de los ochenta, para sus impresoras. El PCL se ha convertido en un estándar emulado por muchos otros fabricantes de impresoras. Además del texto real que se imprime, el PCL consta en gran medida de comandos diseñados para accionar diversas características y capacidades de la impresora.

Lenguajes GDI: Algunas impresoras de inyección de tinta o de matriz de puntos no usan ninguno de los PDL "clásicos" (PostScript o HP-PCL), sino que recurren a la computadora para producir la página a imprimir. A estas impresoras se les llama impresoras basadas en el host o servidor de impresora. Algunas variantes de este tipo de impresión incluyen impresoras que usan el motor de la interfaz de dispositivo gráfico (GDI) de Windows para generar la imagen de la página (impresoras GDI) y la línea de impresoras PPA (Arquitectura para Rendimiento de Impresión) de Hewlett-Packard.¹² Esta característica es importante porque dependiendo de cómo esté diseñada la impresora basada en el host, podría no ser posible imprimir desde sistemas operativos distintos a Windows.

Emulaciones: Decimos que una impresora "emula" cuando admite códigos y modos de funcionamiento de otros modelos o marcas del mercado.

2.2.9 Ciclo mensual de trabajo - Volumen de impresiones mensuales recomendados:

Los fabricantes de equipos de impresión, normalmente indican el ciclo de trabajo mensual, que es la cantidad máxima de páginas en un determinado formato que el equipo puede imprimir en un mes sin deteriorarse. Lo recomendado es que al momento de elegir un equipo el cliente elija uno cuyo ciclo de trabajo mensual exceda por mucho a la cantidad de impresiones que se van a hacer por mes. Por eso es que paralelamente, los fabricantes, también indican un volumen de páginas mensuales recomendado que es el que debe usarse para determinar cual es el tamaño que se necesita.

2.2.10 Consumibles

¹² En las impresoras matriciales, el mantenimiento es sencillo y normalmente barato, ya que únicamente será preciso cambiar la cinta, que suele durar bastante. El cabezal también se suele considerar como consumible, pero no es algo que se estropee con frecuencia, teniendo una media de vida del orden de años.

En las de inyección, lo que más se cambia son los cartuchos de negro y/o color; el cabezal inyector no suele estropearse, y la mayoría de impresoras implementan sistemas de limpieza y calibrado que permiten ajustar el funcionamiento de las mismas. Algunas impresoras utilizan dos cartuchos, uno para la tinta negra y otro para la de color, en donde suelen

estar los tres colores básicos. La mayoría de las impresoras de nueva generación utilizan cartuchos individuales por cada color, esto permite al usuario reemplazar solo el color que se agote. Además con la finalidad de mejorar los tonos claros y oscuros las nuevas impresoras fotográficas cuentan con seis y hasta ocho colores diferentes (magenta claro, cyan claro, negro claro, azul marino, naranja, rojo y verde entre otros).

Por último, en las impresoras láser el consumible por excelencia es el cartucho de tóner (es decir, la tinta), pero tampoco es extraño tener que cambiar la unidad fotoconductora o el tambor (en algunas máquinas estas dos piezas se engloban en una sola) cada cierto tiempo, siempre según la carga de trabajo que soporte la máquina.

2.2.11 Rendimiento - Consumibles

El rendimiento por página indica la cantidad total de páginas que pueden imprimirse con un cartucho. En diciembre de 2006, la Organización Internacional de Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés) aprobó nuevos estándares para la medición del rendimiento por página de cartuchos de tinta (ISO/IEC 24711) y tóner de color (ISO/IEC 19798) para impresoras. Estos estándares complementan la norma de rendimiento ISO/IEC 19752 para cartuchos de tóner monocromático publicada en junio de 2004.¹³

Estos estándares permiten comparar el rendimiento de cartuchos de distintas marcas.

2.2.12 Grandes formatos

Un plotter es un periférico de salida que efectúa con gran precisión, impresiones gráficas que una impresora no podría obtener. Permite imprimir mapas de gran formato, dibujos técnicos, pósteres, fotografías en materiales como vinilo adhesivo, lona, papel, etc. Podemos considerar gran formato a todo aquello que vaya más allá de un hoja A3.

2.3 El proceso de elección de un equipo de impresión

2.3.1 Lista de especificaciones técnicas

A continuación se listan las características técnicas de los equipos de impresión que pueden ser encontrados en los folletos de especificaciones provista por los distintos fabricantes. Dichas características se tienen en cuenta para seleccionar qué modelo de equipo se necesita. Dependiendo del uso que se le va a dar al equipo las distintas características van adquiriendo más o menos relevancia.

- Tipo (impresora / multifunción)
- Tecnología de impresión (láser / inyección de tinta / matriz de punto)
- Color
- Funciones (imprimir / escanear / copiar / envío de fax / envío digital)
- Volumen de impresión recomendado

¹¹ Convertidas en puntos.

¹² Extraído de <http://www.duiops.net/hardware/impresor/impresor.htm>

¹³ <http://www1.lexmark.com/es/MX/cartridges-ink-supplies/iso-page-yields/>,
<http://isotc.iso.org/livelink/livelink/open/jtc1sc28>

- Conectividad (usb / puerto paralelo / red ethernet / wifi)
- Lenguajes de Impresión Soportados (GDI / PCL / PostScript / ESC/Page)
- Tipo de papel (normal, fotográfico)
- Tamaño de papel (A4, A5, etc)
- Velocidad de impresión
- Calidad de Impresión
- Cantidad de Memoria
- Dúplex automático
- Pantalla táctil
- Impresión en A3
- Cantidad de hojas soportadas en la/las bandejas
- Adicionales (bandejas adicionales)

Otras características a tener en cuenta pueden ser:

- Período de garantía
- Precio de los insumos
- Servicio técnico local

2.3.2 Entrevista con el experto

En el *Apéndice A* se encuentra el contenido de los intercambios de mails con un experto (vendedor), que han sido dispuestos en forma de entrevista. Usando como guía un lo manifestado por el experto y lo consultado en el resto de las fuentes ya mencionadas, podemos establecer cuatro características mínimas que considerar para hacer una recomendación de equipos de impresión.

uso (en qué ámbito será usado: oficina, hogar, etc)
funciones (copiar, imprimir, etc)
color
volumen mensual

2.3.3 Heurísticas

De la “entrevista” con el experto se extrajo las siguiente lista de reglas que luego deben ser validadas.

SI es para poco uso y una sola persona ENTONCES necesita impresora chica
SI es para imprimir y escanear ENTONCES necesita multifunción
SI es para uso corporativo ENTONCES necesita impresora de Red
SI no quiere cables ENTONCES necesita conexión wireless
SI es fanático de la tecnología ENTONCES puede querer imprimir desde el iPod

SI es para altos volúmenes ENTONCES el costo del tóner es importante

SI el volumen mensual del equipo es menor a 2000 páginas ENTONCES la impresora es chica

SI es para una oficina ENTONCES necesita láser monocromo

SI es un estudio de arquitectura ENTONCES necesita chorro de tinta para A4 o A3 o un plotter

SI es para el hogar ENTONCES puede necesitar multifunción barata

En la lista de reglas hay ciertos conceptos imprecisos como *impresora chica*, *alto volumen*, *poco uso*. En el contexto utilizado todos los términos se están refiriendo a la cantidad de páginas mensuales. La palabra *uso* se la puede emplear tanto para manifestar frecuencia de impresión, como para referirse a tipo de documentos a imprimir (fotos, textos, etc).

Otras posibles reglas extraídas de noticias y recomendaciones online podrían ser las siguientes.

SI se imprimen menos de 30 pag. a color ENTONCES cartucho único.

SI se imprimen más de 30 pag a color ENTONCES cartuchos separados.

SI el uso es doméstico u ocasional ENTONCES la velocidad no es relevante.

SI el uso es doméstico u ocasional ENTONCES el tamaño de la bandeja no es relevante.

SI se deben imprimir muchas copias ENTONCES la velocidad es relevante.

SI se quieren imprimir fotografías ENTONCES no se recomienda una impresora domestica.

SI no se quieren imprimir fotografías ENTONCES una resolución de 600 dpi alcanza.

SI el volumen de impresión es alto ENTONCES se recomienda impresora láser y velocidad de impresión superior a 30 ppm.

SI es una empresa de publicidad ENTONCES se recomienda láser color.

SI es para formularios continuos ENTONCES se recomienda matriz de punto.

SI es para el hogar o pequeña oficina ENTONCES inyección de tinta.

SI es para el hogar o pequeña oficina y se necesita calidad fotográfica ENTONCES inyección de tinta con 4 cartuchos.

SI el grupo de trabajo promedio es de 10 computadores ENTONCES el tamaño de la bandeja de entrada es importante, y se prefiere de más de 200 hojas.

SI se requiere escanear en un estudio contable o de abogados ENTONCES conviene chequear la superficie del escáner admite tamaño legal.

Table 2: Correspondencia entre volumen mensual y tamaño del grupo de trabajo

Tamaño del grupo	Ciclo mensual	Volumen
1 persona	10000 p./mes	hasta 1000 p.
1 a 3 usuarios	hasta 50000 p./mes	hasta 4000 p.
4 a 10 usuarios	hasta 60000 p./mes	hasta 5000 p.
más de 10 usuarios	hasta 85000 p./mes	hasta 8000 p.

2.3.4 Perfil de usuario

Cúales de todas las características que posee un equipo hay que tener en cuenta depende principalmente del uso que se le dará al equipo y en que ámbito se le dará ese uso (hogar, empresa, etc). Porque el uso determina varios del resto de las características.

2.3.5 Notas sobre volumen mensual

HP Argentina, en su pagina web¹⁴ clasifica sus productos en 5 categorías y guía al cliente que visita su página en busca de impresoras o multifunciones en esta clasificación de acuerdo al uso que el cliente tiene intensiones de darle. En la tabla 1 se puede observar la correspondencia entre uso y volumen mensual de páginas según la web de HP.

En la página de Xerox¹⁵ dentro de los equipos ofrecidos para la pequeña y mediana empresa hay una clasificación de acuerdo al tamaño del grupo de trabajo. Dicha clasificación se compone de las categorías de *personal*, *grupo pequeño* (de 1 a 3 usuarios), *grupo mediano* (de 4 a 10), y *grupo grande de trabajo* (más de 10). Al revisar las especificaciones de los productos de las distintas categorías se observa una relación entre dichas categorías y el ciclo mensual de trabajo, dicha relación se resume en la tabla 2.

3. DISEÑO

En la figura 2 se presenta la arquitectura de tres niveles¹⁶ del sistema.

Para permitir flexibilidad en la incorporación de nuevos equipos o modificación de los existentes, se utilizó un base de datos relacional para mantener las características de los equipos de impresión. Las interfaces web Cliente y Administrador son interfaces gráficas HTML embebidas en código de algún lenguaje de script. El SE se refiere al sistema experto que interactúa con el procesador de consulta y de anera indirecta con la base de datos. El procesador de consulta es el encargado de generar una respuesta en base a los datos provistos por el cliente, las respuestas del SE y consultas a la base de datos. La interfaz con la BD es el módulo que permite modificar y consultar con la base de datos en respuesta a los comandos introducidos desde la interfaz administrativa.

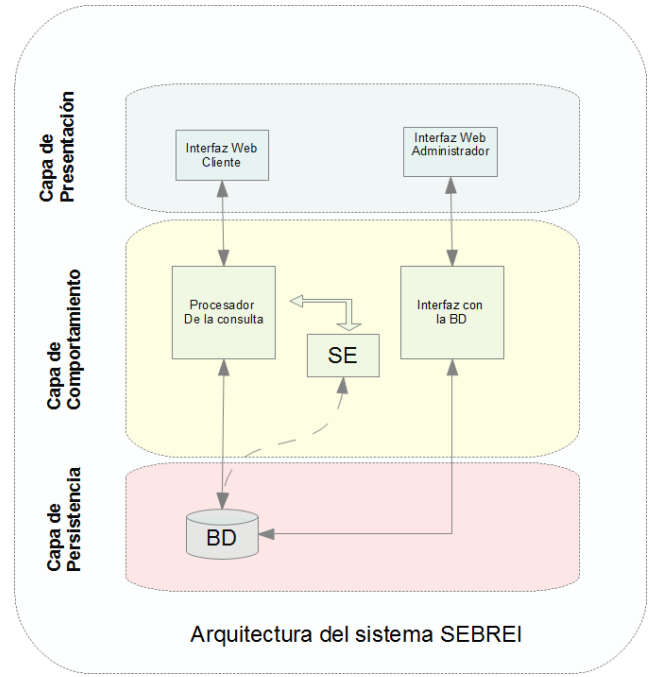


Figure 2:

3.1 Decisiones de Diseño

3.1.1 Acotación del dominio de tarea

El mercado de equipos de impresión es bastante grande. Por una cuestión de practicidad y tiempo el sistema desarrollado recomendará equipos para los segmentos de mercados desde el hogar a empresas, pero siempre equipos que admitan imprimir en formato A4. Inicialmente el sistema no recomendará equipos para lo que se conocen como las artes gráficas, ni equipos que se encuentran dentro de la categoría de grandes formatos. De todas formas el diseño del sistema se planteará de forma tal que puedan ser incorporadas nuevas reglas que cubran estas categorías.

3.1.2 Representación del conocimiento

La principal tarea del sistema experto es determinar cuales del conjunto de características que describen a un equipo son relevantes y que valores deben tener para satisfacer las necesidades del cliente. Una vez determinadas cuales son las características deseadas en un equipo se procede a ofrecer los modelos que cumplen los requerimientos.

Para determinar las características deseadas se usarán reglas de inferencia. Mientras que los distintos modelos serán hechos factuales en la base de conocimiento.

3.1.3 Determinación de las características requeridas

Para determinar algunas características será necesario preguntar al cliente, otras en cambio serán inferidas a partir de los datos provistos por el cliente.

3.1.4 Volumen mensual

Para el volumen mensual se usara una clasificación similar a la propuesta por HP en su web. Se definen 5 conjuntos

¹⁴<http://www8.hp.com>

¹⁵<http://www.office.xerox.com/small-business/esuy.html>

¹⁶Una arquitectura de tres niveles es una especialización de la arquitectura cliente-servidor donde la carga se divide en tres partes (o capas) con un reparto claro de funciones: una capa para la presentación (interfaz de usuario), otra para el cálculo y otra para el almacenamiento (persistencia). Una capa solamente tiene relación con la siguiente.

Table 1: Volumen mensual según uso pretendido.

Volumen mensual	Uso pretendido
Hasta 500 páginas mensuales	Fotos y Documentos
Entre 500 y 1000 páginas mensuales	Impresión de documentos profesional
Entre 1000 y 5000 páginas mensuales	Empresa en crecimiento
Entre 5000 y 10000 páginas mensuales	Impresión de volumen para medianas empresas
Más de 10000 páginas mensuales	Soluciones para organizaciones Empresariales

Table 3:

Tag de precio	Rango de precios, en pesos
económica	0 - 500
moderado	500 - 1000
alto	1000 - 3000
gran inversión	3000 - 150000

crips para el volumen mensual de impresión, se usarán dichos conjuntos para los valores del literal *uso*, los valores de la variable *uso* podrán ser *hogar*, *profesional*, *pyme*, *pyme+* y *corporativo*.

Los límites del volumen mensual definidos por los fabricantes de cada equipo se usaran para categorizar los equipos de acuerdo a los conjuntos definidos para la variable uso.

El uso requerido vendrá determinado a través de consultar con el cliente cuantas páginas cree que en promedio imprimirá en un mes. Con este estado de cosas podría ocurrir, por ejemplo, que se tenga un equipo A cuyo rango recomendado para el volumen mensual sea entre 250 y 2000 páginas, dicho equipo pertenecerá a las categorías hogar, profesional y pyme. Si luego llega una consulta donde se expresa que el volumen de páginas mensuales es 3000, el sistema seteará como pyme la categoría de uso requerida y entonces se podría llegar a recomendar el equipo A cuyo límite superior es inferior a lo que el cliente asegura que usará.

Este tipo de situaciones es aceptable desde el punto de vista que estamos hablando de promedios y aproximaciones. Un refinamiento del sistema tal vez requiera que se generen un número mayor de categorías, nuevas reglas o la utilización de algún tipo de manejo de incertidumbre, ya sea utilizando grados de certezas o conjuntos fuzzy.

3.1.5 Precios

El precio de los equipos también es una característica a tener en cuenta. Para evitar tener que actualizar continuamente la base de datos si varían los precios de los equipos se decidió categorizar a los equipos de acuerdo a cierto rango de precios. En la tabla 3 se resumen las categorías.

Dichas categorías se usaran solo para excluir equipos que están mas o menos fuera del presupuesto del cliente.

3.1.6 Conjunto de Reglas default

La lista de reglas por defecto que serán tenidas en cuenta para la implementación del sistema se encuentran en el Apéndice B.

3.2 Base de datos

La figura 3 muestra el diagrama de entidad relación de la base de datos. La base de datos está implementada en postgres. La idea inicial fue usar mysql, pero postgres cuenta con la posibilidad de definir tipos de datos propios y definir usar arreglos en la definición de las filas de una tabla lo cual resulta útil en este sistema.

4. IMPLEMENTACIÓN

Como shell para sistemas expertos se seleccionó CLIPS por ser de dominio público, permitir una rápida prototipación, contar con una muy buena documentación, tener la capacidad de poder interoperar con otros lenguajes y la disponibilidad de varias extensiones y derivados. Un primer prototipo se implemento enteramente en CLIPS.

4.1 Breve introducción a CLIPS

(exit) Sale de CLIPS

(clear) Elimina datos y programas de la memoria.

(reset) Elimina la información dinámica de la memoria y resetea la agenda.

(run) Comienza la ejecución de un programa CLIPS.

4.1.1 Hechos y Reglas en Clips

En un su modo más sencillo, CLIPS opera manteniendo una lista de hechos (facts) y un conjunto de reglas (rules) con las que operar. Los hechos en CLIPS pueden ser de dos tipos: ordered facts y deftemplate facts. Un ejemplo de ordered facts es:

```
(color si)
(paginas 250)
```

Un ejemplo de deftemplate es:

```
(deftemplate questions
  (slot question (default ?NONE))
  (slot attribute (default ?NONE))
  (slot type (default ?NONE))
)
```

La creación de hechos se realiza mediante las sentencias assert (uno solo hecho) o defact (un conjunto), por ejemplo:

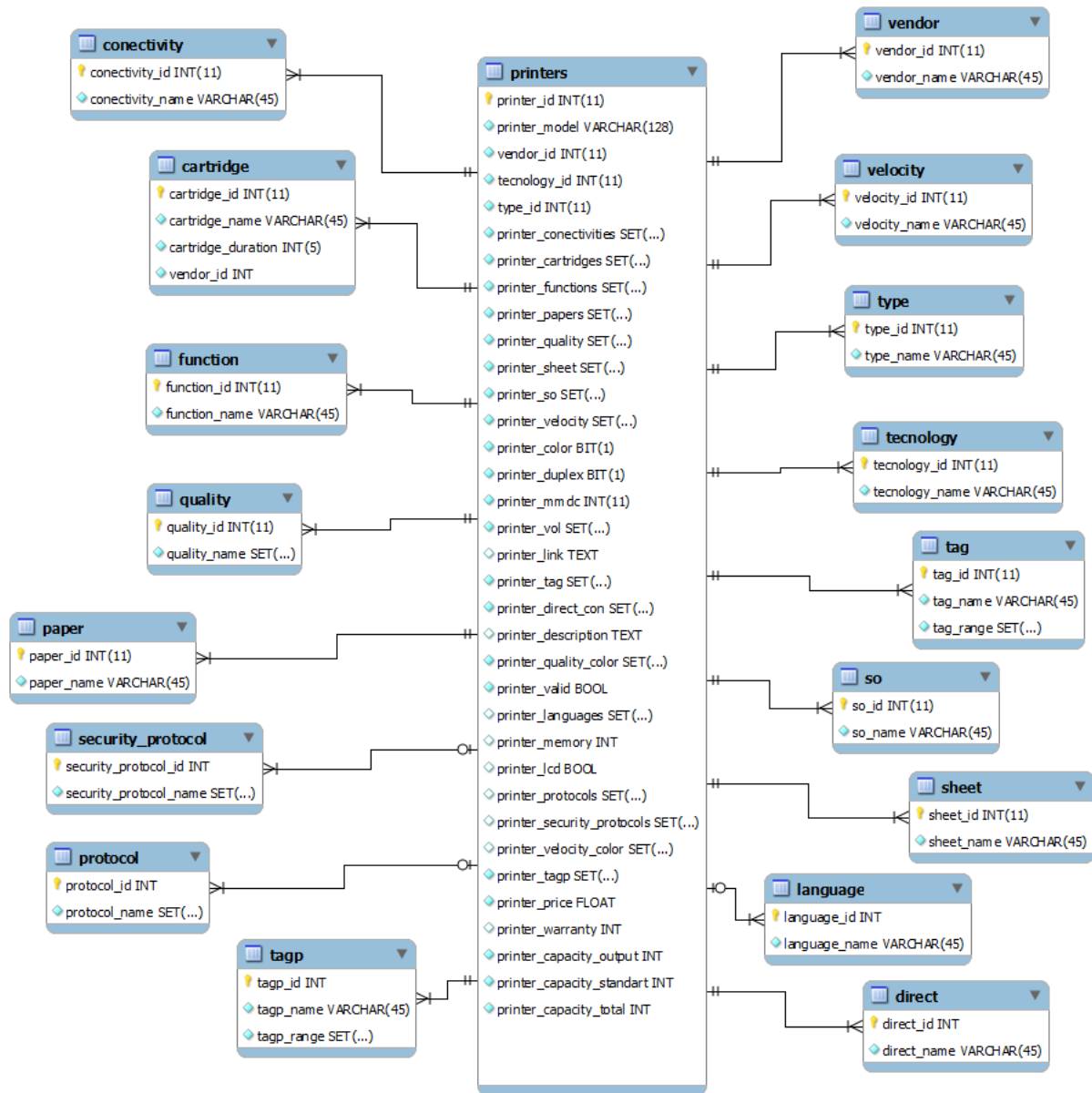


Figure 3: Modelo EER de la base de datos

```
(assert(color si))
(assert (questions
  (question "¿Será necesario imprimir a color?"
    (attribute color)(type bool)
  )
)
)

(deffacts mis-hechos
  (color no)
  (paginas 500)
  (questions
    (question "¿Será necesario escanear?"
      (atribute grupo) (type bool)
    )
  )
)
)
```

Las reglas en CLIPS están formadas por una parte izquierda (LHS) que define las condiciones a cumplir y una parte derecha (RHS) que define las acciones a realizar.

Sintaxis:

```
(defrule nombre-regla"comentario"
  (condicion-1)(condicion-2)...
  =>
  (accion-1)(accion-2)...)

```

Para eliminar un hecho de la memoria de trabajo se usa el comando (retract f).

(printout) permite imprimir en pantalla

(read) permite leer desde la entrada standar

(test) permite evaluar predicados

4.2 Base de Conocimiento

La base de conocimiento del sistema está constituida de hechos y reglas. Una vez iniciada la ejecución del sistema los hechos en la memoria de trabajo estarán constituidos por el conjunto de datos persistentes incorporados a la memoria a través de un deffacts y los hechos que el sistema irá aseverando como resultado de la aplicación de reglas en base a la información de brindada por el usuario.

4.2.1 Hechos

Los hechos persistentes contienen la información acerca de los equipos de impresión. La definición del deftemplate de los equipos tendrá un slot por cada característica de los equipos de impresión que pueda ser necesitado para seleccionarlos. Hay un conjunto de características que son indispensables el resto podrán estar presentes o no en el deftemplate y la lista de deffacts. Ya se verá que desde la interfaz administrativa se puede controlar cuales de un conjunto de características se incorporan en la base de conocimiento. A continuación un ejemplo del deftemplate de los equipos:

```
(deftemplate printer
  (slot model (default ?NONE))
  (slot tecnologia (default ?NONE))
  (slot type (default ?NONE))
  (multislot conectivity (default any))
  (multislot functions (default ?NONE))
  (slot color (default ?NONE))
  (slot duplex (default any))
  (slot use (default ?NONE))
  (slot a3 (default any))
  (slot tag (default ?NONE))
)
```

4.2.2 Reglas

Las reglas deben tratar de capturar el conocimiento acerca de cuando es conveniente un tipo de equipo u otro.

Una de las características principales a determinar es el volumen de páginas mensuales, con lo cual se seleccionará una de las categorías predefinidas para dicho característica. En la implementación se han usado las 5 categorías ya descriptas para el volumen de páginas mensuales, pero el sistema admite cambiar dichos límites e incluso se pueden crear nuevas categorías desde la interfaz web administrativa.

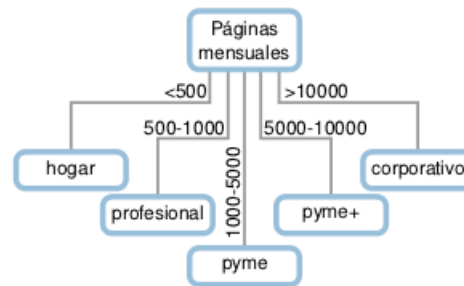


Figure 4:

```
(paginas ?p)
(test (< ?p 500) )
=>
  (assert (uso hogar)))

(defrule regla-uso2
  (paginas ?p)
  (and (test (> ?p 500) )
        (test (<= ?p 1000)))
=>
  (assert (uso profesional)))

(defrule regla-uso3
  (paginas ?p)
  (and (test (> ?p 1000))
        (test (<= ?p 5000)))
=>
  (assert (uso pyme)))

(defrule regla-uso4
  (paginas ?p)
  (and (test (> ?p 5000))
        (test (<= ?p 10000)))
=>
  (assert (uso pyme+)))

(defrule regla-uso5
  (paginas ?p)
  (test (> ?p 10000))
=>
  (assert (uso empresarial)))
```

Ayuda a visualizar el conjunto de reglas el hecho de disponerlas en una estructura de árbol. El árbol correspondiente a la regla que determina la categoría uso se encuentra en la figura 4. Las reglas en clips para ese árbol quedan de la siguiente manera:

```
(defrule regla-uso1
```

El subárbol del nodo hogar se encuentra representado en la figura 5.

El sistema usa encadenamiento hacia adelante y el conjunto de reglas que los componen están distribuidas en los siguientes archivos

```
"printers.clp"
```

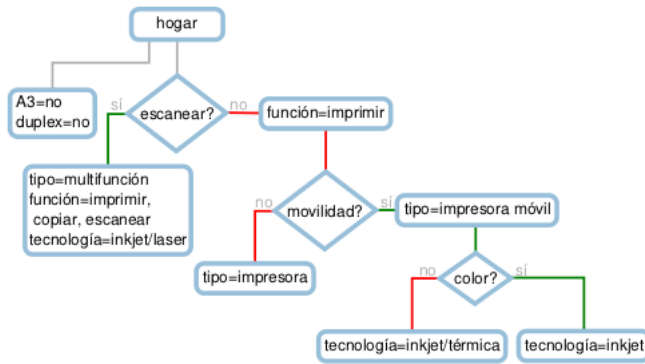


Figure 5:

```

"main.clp"
"regla_uso.clp"
"regla_precio.clp"
"more_questions.clp"
"adicionales.clp"

```

El archivo `printers.clp` contiene el deftemplate de los equipos, los deffacts y una regla para seleccionar los equipos que cumplan ciertas condiciones, `main.clp` contiene reglas que se han definido como default del sistema y que determinan si el equipo debe ser a color o no, si será necesario imprimir a doble fax de forma automática, el tipo de conexión, el tamaño del grupo de trabajo, el tipo de equipo y las funciones requeridas. `regla_uso.clp` determina el tipo de uso y `regla_precio.clp` el tag de precio. `more_questions.clp` inicialmente está vacío y sirve para incorporar nuevas preguntas para setear nuevas características que se necesiten de un equipo, `adicionales.clp` es un conjunto de reglas adicionales relacionadas con características de los equipos que podrían ser necesarias como por ejemplo el tamaño de la bandeja de salida estándar o si el equipo deberá contar con lcd o no. Inicialmente tiene un conjunto de reglas configuradas para que sean neutrales tanto si en el deffact de los equipos se incluyen todas a las características posibles o solo las que se han elegido por defecto.

La regla default que selecciona los equipos que cumplen ciertas condiciones es la siguiente:

```

(defrule recomendar
(printer
  (id ?id)
  (model ?model)
  (use $?uso)
  (type ?type)
  (tecnology ?tec)
  (color ?color)
  (duplex ?duplex)
  (a3 ?a3)
  (conectivity $?con1)
  (tag ?tag1)
  (functions $?functions)

```

```

)
  (uso $?uso2)
  (functions $?functions2)
  (test (subsetp $?uso2 $?uso))
  (test (subsetp $?functions2 $?functions))
  (conectivity $?con2)
  (tag ?tag2)
  (test (member$ ?tag1 ?tag2))
  (test (subsetp $?con2 $?con1))
  (type ?type)
  (tecnology ?tec)
  (color ?color)
  (a3 ?a3)
  (duplex ?duplex)
=>
  (assert (models(model ?model)))
  (assert (ids(id ?id)))
)

```

La función `(subsetp <multifield> <multifield>)` retorna TRUE si el primer argumento es un subconjunto del segundo.

`(member$ <single-field> <multifield>)` Si el primer argumento es uno de los campos del segundo, la función retornará un entero con la posición del campo, de otro modo retornará FALSE.

4.2.3 Reglas Adicionales

Si se desea incluir la característica de sistema operativo entonces en la definición del deftemplate se debe agregar la sentencia

```
(multislot so (default any))
```

y cada instancia de equipo tendrá la lista de sistemas operativos que soporta

La regla adicionales incluye el assert

```
(assert (so any linux windows mac ))
```

y a la regla recomendar se le debe agregar las condiciones correspondiente al sistema operativo.

```

(defrule recomendar
(printer
  (id ?id)
  (model ?model)
  ...
  (so $?so)
)
  ...
  (so $?so2)
  (test (subsetp $?so $?so2))
=>
  (assert (models(model ?model)))
  (assert (ids(id ?id)))
)

```

Dado que la regla adicionales hace una assert de todos los sistemas operativos disponibles en la base de datos y los equipos sólo tienen la posibilidad de tener asociados sistemas operativos que se encuentran en la base de datos en este punto haber seleccionado la característica sistemas operativos para incorporar a las características de los equipos no tiene efecto alguno sobre las recomendaciones que el sistema está en grado de hacer. Es necesario modificar la regla de adicionales eliminando la cláusula (assert (so any linux windows mac)) y agregar una nueva regla que tome alguna decisión acerca de que sistema operativo debe soportar los equipos a recomendar.

5. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

La regla selecciona todos los modelos de impresoras o multifunciones que cumplen el conjunto de características de uso, funciones, conexiones, tags, tipo, color, tecnología, a3, y duplex. Por lo tanto el conjunto de reglas por defecto debe setear los valores de dichas características.

Dado que la cantidad de reglas es reducido y en general se las puede organizar como árboles de decisión para las distintas características es fácil comprobar que no hay reglas inconsistentes, contradictorias, referencias circulares o reglas que no pueden ser alcanzadas en el sistema.

CLIPS tiene a su vez varios comandos que pueden ser útiles a la hora de chequear el funcionamiento del sistema.

(agenda): Muestra las reglas instanciadas. Para cada instancia muestra la prioridad de la regla, el nombre de la regla y los hechos reconocidos por la regla.

(facts): Muestra los hechos de la memoria de trabajo.

(watch <parámetro>): Es útil para depurar programas. El parámetro puede ser uno de los siguientes símbolos: facts, rules, activations, statistics, compilations, focus, o all.

(matches <nombre-de-regla>): Recibe como argumento el nombre de una regla y muestra los hechos reconocidos por cada patrón.

Se realizaron varios ensayos sobre el prototipo que cuenta con una lista de 45 equipos y con las distintas herramientas se corrigieron errores de sintácticos, de funciones, de tipeo y reglas faltantes.

Ejemplo de un test de prueba. Se elige un equipo de la base de conocimiento, en este caso el modelo

HP_Color_LaserJet_Enterprise_CP5525dn

cuyas características son las siguientes:

```
(printer (id 48)
(model "HP_Color_LaserJet_Enterprise_CP5525dn" )
(technology laser)
(type impresora)
(connectivity ethernet usb)
(functions imprimir)
(color si)(duplex si)
```

```
(use pyme pyme+)
(tag gran_inversion)(a3 si)
)
```

Dentro del interprete de órdenes de CLIPS se ejecuta el sistema tipeando el comando (batch "SE.clp")

```
CLIPS> (batch "SE.clp")
TRUE
```

El sistema responde TRUE, lo que indica que las reglas se cargaron de manera correcta.

Luego se responden las preguntas hechas por el sistema de modo que si el sistema está correctamente implementado se seteen las características correspondientes al equipo seleccionado.

Será necesario imprimir a color?
Respuesta>no

Cual es el volumen mensual de páginas?
Respuesta>5001

¿Cual es el tamaño del grupo de trabajo?
Respuesta>5

¿Cuanto es lo máximo que esta dispuesto a gastar?
Respuesta>3100

Le interesa poder imprimir a doble faz de forma automatica?, encarecerá un poco el equipo.
Respuesta>si

¿Se necesitará imprimir en A3?
Respuesta>no

¿Te interesa poder escanear documentos, enviar fax o archivos digitales via mail con el mismo equipo?
Respuesta>si

LaserJet_Enterprise_M4555f_MFPn

La respuesta del sistema ha sido justamente

LaserJet_Enterprise_M4555f_MFPn.

En este caso este es el único equipo en la base de conocimiento con dichas características. El sistema recomienda exactamente lo que se ha definido que haga. Para este ejemplo en particular el equipo recomendado tiene un valor de 13000 pesos, lo cual esta muy por encima del presupuesto que indicamos al sistema. A decir verdad un equipo con las características pedidas raramente tendrá un valor inferior a 10000 pesos, por lo que la recomendación sigue siendo válida. Ante este tipo de situaciones una cosa que se puede hacer es emitir un mensaje diciendo que todos los equipos superan el presupuesto del cliente pero aún así recomendarlos. También debe considerarse si las categorías planteadas tanto de

precio como de uso son válidas. Por lo demás el sistema funciona apropiadamente.

A continuación un subconjunto de la lista de hechos que pueden observarse al tipear el comando facts:

```
CLIPS> (facts)
...
f-48    (color no)
f-49    (paginas 5001)
f-50    (grupo 5)
f-51    (precio 3100)
f-68    (uso pyme+)
f-69    (duplex si)
f-70    (a3 no)
f-72    (type multifuncion)
f-73    (functions imprimir copiar
        escanear fax envio_digital)
f-74    (tecnology laser)
f-75    (tag gran_inversion economica
        moderado alto)
f-76    (conectivity ethernet)
f-77    (models
        (model "LaserJet_Enterprise_M4555f_MFP"))
f-78    (ids (id 53))
```

Y la lista de matcheos, en particular el equipo recomendado corresponde al fact 37. Los signos '..' significan que todos los hechos intermedios también fueron reconocidos por el patrón.

```
CLIPS> (matches recomendar)
Matches for Pattern 1
f-1 .. f-46
Matches for Pattern 2
f-68
Matches for Pattern 3
f-73
Matches for Pattern 4
f-76
Matches for Pattern 5
f-75
Matches for Pattern 6
f-72
Matches for Pattern 7
f-74
Matches for Pattern 8
f-48
Matches for Pattern 9
f-69
Matches for Pattern 10
f-70
Partial matches for CEs 1 - 2
f-1,f-68
..
f-46,f-68
Partial matches for CEs 1 - 3
f-38,f-68,f-73
f-37,f-68,f-73
f-33,f-68,f-73
Partial matches for CEs 1 - 4
```

```
f-33,f-68,f-73,f-76
f-37,f-68,f-73,f-76
f-38,f-68,f-73,f-76
Partial matches for CEs 1 - 5
f-33,f-68,f-73,f-76,f-75
f-37,f-68,f-73,f-76,f-75
Partial matches for CEs 1 - 6
f-33,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72
f-37,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72
Partial matches for CEs 1 - 7
f-33,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72,f-74
f-37,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72,f-74
Partial matches for CEs 1 - 8
f-37,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72,f-74,f-48
Partial matches for CEs 1 - 9
f-37,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72,f-74,f-48,f-69
Partial matches for CEs 1 - 10
f-37,f-68,f-73,f-76,f-75,f-72,f-74,f-48,
f-69,f-70
```

6. DESARROLLO DE LA INTERFAZ WEB

6.1 Interfaz administrativa

La interfaz administrativa permite agregar o modificar entre otras cosas tipo de equipos, tecnología, funciones, y nuevo equipamiento a la base de datos. También cambiar parámetros que afectan el comportamiento del sistema experto, como por ejemplo cambiar el límite de las categorías de volumen mensual de impresión o inclusive agregar nuevas.

6.1.1 Requerimientos

La interfaz web debe permitir al administrador del sistema agregar elementos a la base de datos y ajustar ciertos parámetros del SE. Permite:

- Logueo y autenticación
- Agregar/Modificar :
 - Impresoras
 - Conectividades
 - Marcas
 - Velocidades de impresión
 - Tecnologías de impresión
 - Tipo de equipos
 - Sistemas operativos soportados
 - Tamaños de papel
 - Tipos de papel
 - Calidades de impresión
 - Funciones del equipo
 - Lenguajes de impresión
 - Consumibles
 - Cambiar límites a los tags* (de cant de impresiones y de precios)
 - Usuarios
- Mantenimiento:
 - Actualizar tag a los equipos
 - Generar listas de impresoras
 - Actualizar reglas

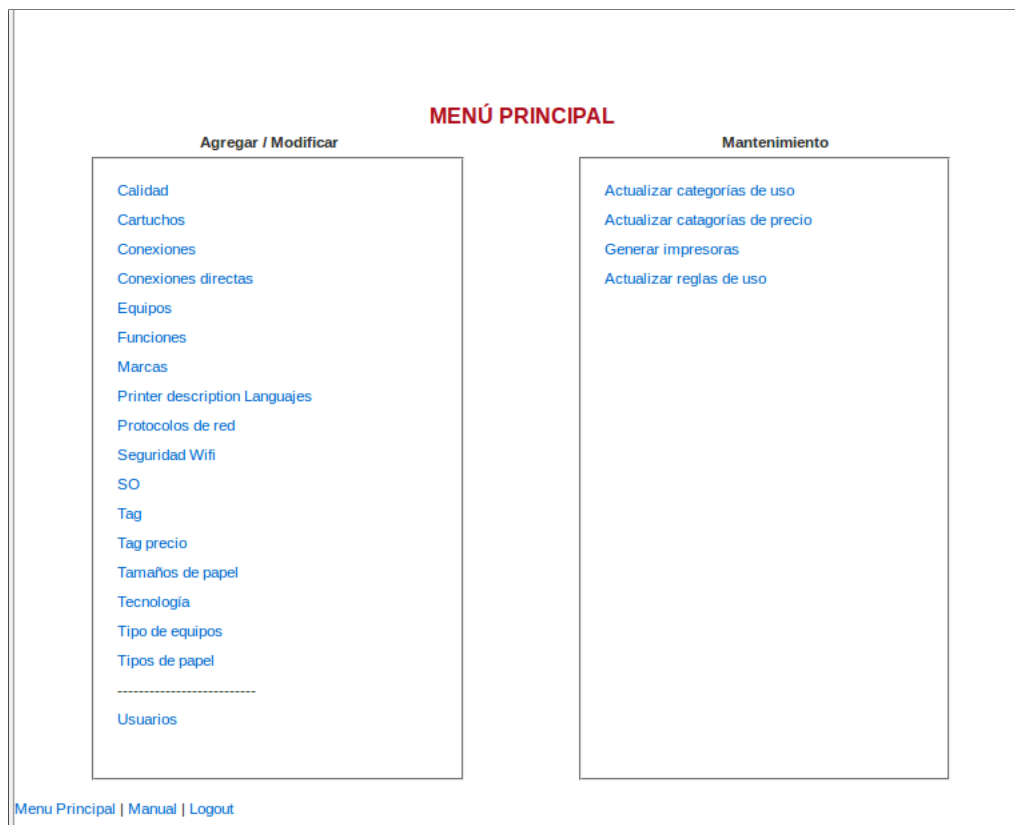


Figure 6:

6.1.2 Implementación

La interfaz administrativa del sistema se desarrollo en PHP.

En la figura 6 se muestra el menú general del sistema. Cada link de la columna agregar/modificar permite agregar o editar una característica relacionada con las impresoras o un nuevo equipo.

El formulario de agregar un nuevo equipo (figura 7) sirve para incorporar a la base de datos, los datos correspondientes a un nuevo equipo, el formulario permite asociar todas las características presentes en la base de datos a un equipo de impresión.

Algo practico es que no tenemos que clasificar los equipos de acuerdo al uso o precio de los mismos, el sistema se encarga de categorizarlos automáticamente de acuerdo a los límites seteados para cada categoría definida.

Una vez completado el formulario al presionar el botón siguiente aparece un nuevo formulario (figura 8) para asociar los cartuchos al equipo, en particular sólo aparecerán los cartuchos disponibles de la misma marca que el equipo que se esté cargando.¹⁷

Las categorías de uso controlan los límites de la variable

¹⁷Inicialmente el sistema no usa esta información, pero podría llegar a ser necesario ya que cada cartucho tiene asociado una duración en paginas sirve para calcular el costo de mantenimiento del equipo.

Figure 8:

PRINTER

[Menu Principal](#) | [Manual](#) | [Modificar un equipo ya existente](#) | [Logout](#)

Impresora Activa ☒

Marca

Brother Modelo DCP-7065DN Precio (pesos) 1100

Tipo multifuncion Tipo de tecnología de impresión laser

Memoria (MB) 32

Conectividad

ethernet ☒ usb ☒ serial ☐ wifi ☐ paralelo ☐ JDI ☐ EIO ☐

Conectividad directa

memory_card ☐ usb ☐ bluetooth ☐ pictbridge ☐

Funciones

imprimir ☒ escanear ☒ fax ☐ copiar ☒ envio digital ☐

Tamaños de papel

A4 ☒ A3 ☐ A5 ☒ letter ☒ legal ☒ B5 ☒ Sobre DL ☐ A6 ☐ B6 ☐ B7 ☐ C5 ☐ C6 ☐ B5(JIS) ☐ B6(JIS) ☐ B7(JIS) ☐
B4 ☐ hagaki ☐ L ☐ 2L ☐ A7 ☐ B4(JIS) ☐ Ejecutivo ☒

Tipos de papel

fotográfico ☐ sobres ☒ transparencias ☐ etiquetas ☒ normal ☒ Xerox_4200_20_lb ☒ Láser_Hammermill_24_lb ☒
Satinado_65_lb ☐ reciclado ☐

Sistemas operativos soportados según fabricante

windows ☒ linux ☐ mac ☒

Figure 7:

lingüística uso relacionada con el volumen de páginas mensuales. La interfaz permite agregar tantas categorías como se quieran.

El menú para cambiar los límites y categorías de precio cumple un papel similar con respecto a la categorías relacionadas con el precio de los equipos (Ver figura 9). Si se alteran los tags de precio o uso las descripciones asociadas a los equipos podrían dejar de ser consistentes por lo que es necesario actualizarlas. El menú de Actualizar las categorías cumple dicha función. Luego deberán generarse nuevamente el file de impresoras y las reglas de uso o precio respectivamente.

Hay varios motivos por los cuales se deba volver a generar el archivo de impresoras:

- Se han agregado/modificado equipos.
- Se han agregado/modificado los tags de uso o precio.
- Se quiere incluir una característica nueva a los equipos para ser considerado por el sistema experto.

Al hacer click sobre el menú de generar impresoras se abre un formulario que permite seleccionar un grupo de características disponibles para incluir en la base de conocimiento. Ver figura 10.

Si todo sale bien el proceso genera dos archivos `printer.clp` y `temporary_rules_adicional`, el segundo sirve de ejemplo para crear las reglas adicionales del archivo `aditionals.clp`. (Ver figura 11).

6.2 Interfaz cliente

Para portar el sistema de manera online a través de un servidor web he usado la librería CLIPS, la otra opción era PÓLI-POS. Ambas implementan un subconjunto de los comandos propios de CLIPS, pero CLIPS implementa un número mayor de comandos y además cuenta con una muy buena documentación y un activo foro de discusión¹⁸.

6.2.1 Objetivos

La interfaz web del sistema experto con las personas que van a consultar debe hacer las mismas preguntas y generar el mismo resultado que el sistema bache para CLIPS. De hecho uno de los objetivos fue se usen los mismos archivos en CLIPS para ambas interfaces.

6.2.2 Notas a la implementación

Las reglas que incluyen sentencias del tipo `printout` y `read` deben ser modificadas de modo que en vez de imprimir en pantalla se haga un `assert` con la pregunta que debe ser hecha al usuario. Se creo el siguiente `deftemplate`:

```
(deftemplate questions
  (slot question (default ?NONE))
  (slot attribute (default ?NONE))
  (slot type (default ?NONE))
)
```

¹⁸<http://sourceforge.net/projects/pyclips/forums>

Figure 10:

Figure 11:

[Menu Principal](#) | [Manual](#) | [Logout](#)

TAG

ATENCIÓN: LEA ATENTAMENTE EL MANUAL ANTES DE EFECTUAR CAMBIOS EN ESTÁ CATEGORÍA.

Nombre del tag
Valor mínimo:
Valor máximo:

ALREADY IN DATABASE
corporativo [Modify ==>>](#)
hogar [Modify ==>>](#)
profesional [Modify ==>>](#)
pyme [Modify ==>>](#)
pyme+ [Modify ==>>](#)

[Menu Principal](#) | [Manual](#) | [Logout](#)

Figure 9:

Dicha estructura se usa para comunicar la pregunta a la interfaz web. Las reglas que hacían preguntas al usuario se seguirán usando con la terminal y deben cumplir la condición de que el sistema este siendo ejecutado en una terminal y al mismo tiempo se crearon reglas similares para usar con la interfaz web.

Por ejemplo si una regla era como la que sigue:

```
(defrule regla1
=>
  (printout t crlf "¿Se necesitará imprimir en A3?")
  (printout t crlf "Respuesta>")
  (bind ?ans (read))
  (assert (a3 ?ans))
)
```

Se reemplazara con la siguiente:

```
(defrule regla1
  (terminal)
=>
  (printout t crlf "¿Se necesitará imprimir en A3?")
  (printout t crlf "Respuesta>")
  (bind ?ans (read))
  (assert (a3 ?ans))
)
```

y se creara la siguiente regla

```
(defrule regla12
  (browser)
=>
  (assert (questions
    (question "¿Se necesitará imprimir en A3?")
    (attribute a3)
    (type bool)
  )
)
```

El sistema se encargara de hacer la pregunta y generar el assert correspondiente con la respuesta del usuario, para el caso de la interfaz web.

6.3 Testing

Lo que queda por verificar es que la respuesta del sistema sea la misma tanto si es ejecutado a través del browser o desde una terminal.

Será necesario imprimir a color?
 Respuesta>si
 ¿Cuál es el volumen mensual de páginas?
 Respuesta>300
 ¿Cuál es el tamaño del grupo de trabajo?
 Respuesta>2
 ¿Cuánto es lo máximo que esta dispuesto a gastar?
 Respuesta>500
 Te interesaría además de imprimir poder escanear documentos con el mismo equipo?
 Respuesta>si

Respuesta del sistema

Deskjet2050n
 Deskjet3050n
 Officejet4400-K410an

Será necesario imprimir a color?
 Respuesta>no
 ¿Cuál es el volumen mensual de páginas?
 Respuesta>300
 ¿Cuál es el tamaño del grupo de trabajo?
 Respuesta>2
 ¿Cuánto es lo máximo que esta dispuesto a gastar?
 Respuesta>500
 Te interesaría además de imprimir poder escanear documentos con el mismo equipo?
 Respuesta>no
 Necesitarías desplazar la impresora en viajes, o trasladarla a diferentes habitaciones?
 Respuesta>no

Respuesta del sistema

HL-2130n
 HL-2240n

En todos los casos testeados la respuesta es la misma en ambas interfaces. En la figura 12 se encuentra el resultado de dar las mismas respuestas que en el último test. La única diferencia entre la interfaz web y la interfaz para terminal es que en la interfaz web además del modelo de los equipos se da una breve descripción del modelo si es que está presente en la base de datos y un link al folleto o página web del modelo.

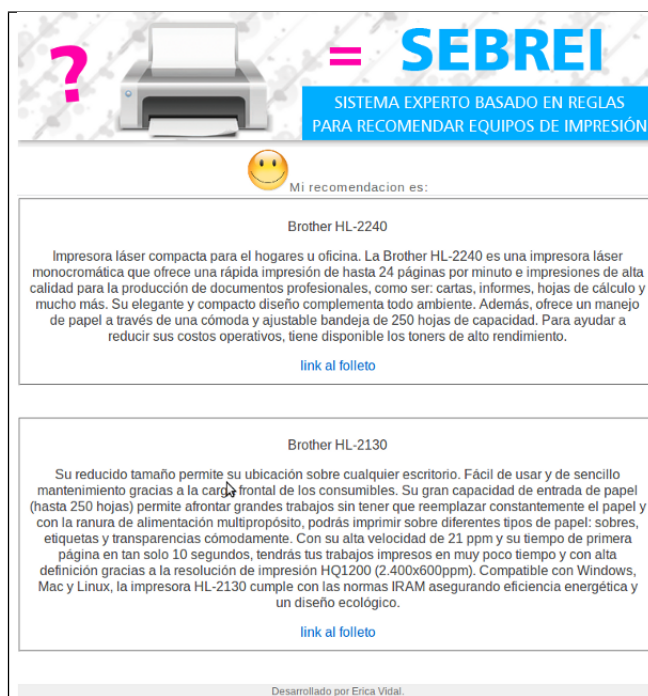


Figure 12:

7. CONCLUSIÓN Y NOTAS FINALES

Construir el sistema ha servido para satisfacer mi curiosidad personal acerca de los sistemas expertos. En particular he comprendido que la parte más difícil de la construcción de este tipo de sistemas es la adquisición del conocimiento, así como la selección de una correcta representación del conocimiento.

También me he hecho a la idea de que construir un sistema experto medianamente complejo puede llegar a requerir varios años de desarrollo por lo que primero conviene hacer un verdadero estudio de la viabilidad del proyecto, que por lo general incluye costo, disponibilidad de las fuentes del conocimiento, utilidad o necesidad de la construcción del sistema, determinar si características del problema que resuelve son apropiadas para ser resuelto mediante un sistema experto, entre otras.

Una de las cosas que me parece vale la pena destacar del sistema construido es la posibilidad de mantener actualizada la base de conocimiento a través de una base de datos, la generación automática de los hechos, de las reglas de tag, uso, adicionales y recomendar. También es un buen atributo la posibilidad de agregar nuevas heurísticas sobre características presente en la base de datos y que inicialmente no se han incorporado al conjunto de reglas por defecto.

References

- [1] Otero Spagnuolo, M.
Consejos para comprar una impresora
<http://marina-otero-spagnuolo.suite101.net/consejos-para-comprar-una-impresora-a29960> Nov, 2010
- [2] Fiorotto, A.
Impresoras: consejos antes de salir a comprar.
<http://www.redusers.com/noticias/impresoras-consejos-antes-de-comprar/> Abril, 2011
- [3] Montoya, Marcelo A. *Impresoras, Curso online.*
<http://www.mailxmail.com/curso-impresoras>.
- [4] Huergo, C.
Consejos para tener en cuenta antes de comprar una nueva impresora.
<http://tecnologia.iprofesional.com/notas/115886-Consejos-para-tener-en-cuenta-antes-de-comprar-una-nueva-impresora> Mayo, 2011
- [5] ISO/IEC, 24734:2009.
Information technology: Office equipment: Method for measuring digital printing productivity.
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38844 2009.
- [6] Giarratano, Joseph. *CLIPS User's guide.* Quicksilver Beta, 2007.
- [7] Giarratano, Joseph. *CLIPS Reference Manual.* Quicksilver Beta, Volume I, 2007.
- [8] Garosi, F. *PyCLIPS Manual*
<http://pyclips.sourceforge.net/manual/> Feb 22, 2008.

APPENDIX

A. ENTREVISTA CON EL EXPERTO

IC- ¿Qué tipo de información se le pide a un cliente cuando se acerca con intenciones de comprar un equipo de impresión?

Experto- Hay varias consideraciones cuando un interesado consulta por impresoras, las relevantes son:

1. Qué tipo de uso le va a dar a la impresora, también el trabajo o profesión del cliente es un dato orientativo.
2. Producción de trabajo diario o mensual.
3. Si es para grupos de trabajo o para usar solo junto a una PC.
4. Si también escanean documentos, sacan fotocopias y/o usan fax

Con estos primeros datos ya tenemos para prepararle un abanico de soluciones de impresión. Es decir, si es para poco uso y una sola persona puede sugerirse una impresora chica, si también escanea se amplía a una multifunción. Si ya es corporativa conviene una impresora en RED, con print server interno. A veces el cliente para su hogar ya está pidiendo impresoras WIRELESS ya que no quiere cables dando vuelta por su casa, también hoy hay estos equipos. Además para los fanáticos de la tecnología tenemos las nuevas máquinas que imprimen desde un iPOD, etc. También hoy el asesoramiento va por el costo de los toner que al momento de la elección puede ser importante sobre todo para altos volúmenes.

IC- ¿Cuál debe ser aproximadamente el volumen de impresiones diario o mensual para que se concidere que se necesita una impresora chica?, o sino ¿cuándo considero que una impresora es chica?

Experto- Normalmente el fabricante especifica en la folletería el volumen de trabajo, normalmente si el volumen mensual es de hasta 1.500 a 2.000 páginas por mes, en Argentina se estila comprar una máquina chica.

IC- Mencionaste que la profesión de un cliente es un dato orientativo para la recomendación de un equipo, en ese sentido necesitaríamos un poco más de detalle. ¿Qué tipos de profesiones indican qué tipos de equipos?

Experto- Por ejemplo, para una oficina lo más común es usar impresoras láser monocromo. Si es un estudio de arquitectura es probable que usen chorro de tinta ya sea formato pequeño o bien A3 (297 x 432 mm.) o bien plotter. Un diseñador gráfico o fotógrafo pude elegir una impresora HP Photosmart con 6 tintas de colores diferentes. Para el hogar una multifunción inkjet línea barata. Si entrás a la página de HP vas a encontrar que las impresoras las categorizan para:

- mercado hogareño

- *mercado de diseño*
- *mercado corporativo*

APPENDIX

A. REGLAS DEFAULT

SI el uso es hogar ENTONCES no es necesario imprimir en A3 ni duplex automático.

SI el uso es hogar y no es necesario escanear ENTONCES sólo se necesita imprimir.

SI el uso es hogar y es necesario escanear ENTONCES se necesita una multifunción que imprima, copie y escanee y la tecnología de impresión puede ser laser o a chorro de tinta.

SI el uso es hogar, no es necesario escanear y es necesario trasladar el equipos ENTONCES se necesita una impresora móvil.

SI el uso es hogar, no es necesario escanear y no es necesario trasladar el equipos ENTONCES se necesita una impresora.

SI se necesita una impresora móvil y es necesario imprimir a color ENTONCES se recomienda tecnología de impresión a chorro de tinta.

SI se necesita una impresora móvil y es necesario imprimir a color ENTONCES la tecnología de impresión puede ser térmica o chorro de tinta.

SI el uso no es hogar ENTONCES el cliente debe indicar si desea imprimir en A3.

SI el uso no es hogar ni profesional ENTONCES es una decisión del cliente si quiere un equipos con duplex automático.

SI el uso es profesional ENTONCES no ofrecer duplex automático.

SI el uso es profesional y es necesario enviar fax con el equipo ENTONCES se recomienda una multifunción que imprima, copie, escanee y envíe fax.

SI el uso es profesional y no es necesario enviar fax con el equipo pero si escanear ENTONCES se recomienda una multifunción que imprima, copie, escanee.

SI el uso es profesional y no es necesario enviar fax, ni escanear ENTONCES se recomienda una impresora.

SI el uso es profesional y el volumen mensual es hasta 800 páginas ENTONCES la tecnología de impresión puede ser laser o a chorro de tinta.

SI el uso es profesional y el volumen mensual es mayor a 800 páginas ENTONCES se recomienda láser como tecnología de impresión.

SI el uso es pyme y es necesario enviar fax y documentos digitales ENTONCES se recomienda una multifunción que imprima, copie, escanee, envíe fax y documentos digitales.

SI el uso es pyme y es necesario enviar fax y no documentos digitales ENTONCES se recomienda una multifunción que imprima, copie, escanee, envíe fax.

SI el uso es pyme y no es necesario enviar fax, ni documentos digitales pero sí escanear ENTONCES se recomienda una multifunción que imprima, copie y escanee.

SI el uso es pyme y no es necesario enviar fax, ni documentos digitales, ni escanear ENTONCES se recomienda una impresora.

SI el uso es pyme+ o corporativo ENTONCES se recomienda láser como tecnología de impresión.

SI el uso es pyme+ y es necesario enviar fax o documentos digitales o escanear ENTONCES se recomienda una multifunción que imprima, copie, escanee, envíe fax y documentos digitales.

SI el uso es pyme+ y sólo se necesita imprimir ENTONCES se una impresora.

SI el uso es corporativo y es necesario enviar fax ENTONCES se recomienda una multifunción imprima, copie, escanee, envíe fax y documentos digitales.

SI el uso es corporativo y no es necesario enviar fax pero sí documentos digitales ENTONCES se recomienda una multifunción imprima, copie, escanee y envíe documentos digitales.

SI el uso es corporativo y no es necesario enviar fax ni documentos digitales ENTONCES se recomienda una impresora.

SI el tamaño del grupo de trabajo es menor o igual a 2 ENTONCES se recomienda conexión usb.

SI el tamaño del grupo de trabajo está entre 2 y 4 personas ENTONCES se recomienda conexión usb o wifi.

SI el tamaño del grupo de trabajo es mayor a 4 personas ENTONCES se recomienda conexión ethernet.