

Iñigo Monedero Goicoechea, José Manuel Elena Ortega, Carlos León de Mora

Grupo de Investigación de Tecnología Electrónica e Informática Industrial, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Sevilla.

<monedero@cartuja.us.es>

<manoloe@cica.es>

<cleon@cica.es>

Resumen: en este artículo se describe un Sistema Experto médico para la Diagnóstico de la Diarrea Crónica (**SEDDIC**) y el proceso de desarrollo llevado a cabo con la herramienta de programación de sistemas expertos **CLIPS**. Con el proyecto **SEDDIC** se pretende mostrar la gran utilidad de **CLIPS** y demás herramientas de libre distribución en la realización de sistemas expertos. La primera parte del artículo presenta las características de **CLIPS** haciendo, a su vez, un recorrido histórico del lenguaje. En su segunda parte se explica el problema de la diagnosis de la diarrea crónica y el proceso de construcción de **SEDDIC**. Posteriormente se extraen las conclusiones obtenidas con **SEDDIC** para, por último, analizar la situación de **CLIPS** en la actualidad informática.

Palabras clave: sistemas expertos, software de libre distribución, Informática Médica, **SEDDIC**, **CLIPS**.

1. Introducción

De repente todo parece estar cambiando. El software de libre distribución toma un protagonismo cada vez mayor en el entorno de la informática práctica. Lo que antes era sinónimo de inestabilidad e ineficiencia ahora se convierte en su antónimo. Linux ha abierto el camino del software gratuito de calidad y con código fuente abierto y los desarrolladores aprovechan esta circunstancia.

Ciertas disciplinas de la informática se han beneficiado de este cambio de mentalidad y entre ellas se encuentran los sistemas expertos. En el pasado, cuando se hacía referencia a éstos, se los asociaba a un gran bloque hardware trabajando día y noche en la obtención de conclusiones que, en la mayoría de los casos, resultaban inconsistentes o quedaban lejos de emular las capacidades de un experto. Posteriormente mejoró la potencia de cálculo de los ordenadores y con ello la validez de los resultados pero seguía siendo problemática su realización debido al alto coste de las herramientas. Hoy en día cualquier técnico informático puede tener a su disposición de manera gratuita los medios necesarios para el desarrollo de un sistema experto y esto ha provocado un aumento del interés por los mismos que se refleja en la literatura reciente [1][2][5][6].

Entre las herramientas de libre de distribución para la construcción de estos sistemas encontramos que unas están orientadas a la programación puramente funcional, en donde situaríamos al conocido **LISP**. Otras herramientas están orientadas a la programación lógica, siendo incluso posible utilizar lenguajes de propósito general como C, ADA y Pascal para

SEDDIC, una aplicación al diagnóstico médico de las herramientas de libre distribución para el desarrollo de Sistemas Expertos

la elaboración de un sistema experto. En Internet podemos encontrar algunas distribuciones gratuitas y muy potentes de estas herramientas (ver apartado 6).

Entre todas las herramientas citadas anteriormente, existe una que combina muchas de las ventajas de las demás: **CLIPS**.

1.1. CLIPS: una primera visión

CLIPS, acrónimo de *C Language Integrated Production System*, es una herramienta de desarrollo que proporciona un entorno completo para la construcción de sistemas expertos basados en reglas y objetos. Las principales características de **CLIPS** [1] son:

- Representación del conocimiento: **CLIPS** proporciona una herramienta de unión para el manejo de grandes variedades de conocimiento con soporte para tres paradigmas de programación diferentes: programación basada en reglas, orientada a objetos y procedimental.
- La programación basada en reglas estructura el conocimiento para ser representado como heurística o reglas de producción, las cuales especificarán un conjunto de acciones a realizar ante una situación dada.
- La programación orientada a objetos permite el modelado de complejos sistemas expertos en diferentes módulos, proporcionando una mayor reusabilidad de código en el desarrollo de otros sistemas o en la creación de componentes.
- Las capacidades proporcionadas por **CLIPS** con respecto a la programación procedimental son similares a la de los algunos lenguajes de propósito general como C, Pascal y ADA; e incluso a la de lenguajes puramente procedimentales como **LISP**.
- Portabilidad: al estar escrito en C, **CLIPS** conserva la portabilidad y la velocidad de este lenguaje, a la vez que, el hecho de tener disponibles sus fuentes permite la posibilidad de modificar el lenguaje, añadiendo o eliminando órdenes, funciones, etc.
- Integración: **CLIPS** puede ser integrado como llamadas a subrutinas en lenguajes como el C y ADA.
- Verificación/Validación: **CLIPS** también contempla características que permiten la verificación (proceso de comprobación de que un sistema experto está bien construido, es decir que no contiene errores en las fases de diseño y codificación) y validación (comprobación de que el sistema experto se corresponde con el sistema que se supone que representa), incluyendo soporte para diseño modular, particionamiento de la base de conocimiento y patrones para el análisis semántico de reglas (para determinar así posibles inconsistencias en éstas).

1.2. CLIPS: recorrido histórico

El origen de CLIPS data de 1984 en el Centro Espacial Johnson de la NASA. En ese momento la Sección de Inteligencia Artificial (ahora la Oficina de Tecnologías de la Información) había desarrollado alrededor de una docena de prototipos de aplicaciones de sistemas expertos usando el estado del arte del software y hardware de aquel momento. Sin embargo, a pesar de esta extensa demostración del potencial de los sistemas expertos, pocas de estas aplicaciones eran de uso habitual. Esta falta de productividad de sus sistemas llevó a la NASA a la utilización de LISP como medio de desarrollo en todas las herramientas basadas en sistemas expertos. Pero tres problemas dificultaron al uso de este lenguaje: su baja disponibilidad en el campo de los ordenadores convencionales, el alto coste de las herramientas LISP hardware y software y su pobre integración con otros lenguajes. En la Sección de Inteligencia Artificial se pensó que con el uso de un lenguaje convencional, tal como C, se eliminarían la mayoría de estos problemas y se comenzó su desarrollo.

Un primer prototipo del lenguaje CLIPS fue desarrollado en la primavera de 1985 a lo largo de un periodo de 2 meses, pero no fue hasta 1986 en su versión 3.0 cuando CLIPS estuvo disponible fuera del entorno de la NASA, encontrándose en su versión 6.1 actualmente. Gracias a su portabilidad, bajo coste y potencia para la representación del conocimiento, CLIPS ha tenido una amplia acogida en la Administración Pública norteamericana, la industria y universidad, contando hoy en día con una cifra del orden de los 6.000 usuarios.

2. Aplicación de CLIPS a la Informática Médica

La principal ventaja de los sistemas expertos en Medicina se encuentra a la hora de tomar decisiones en enfermedades con diagnóstico complicado [2]. Dichos sistemas expertos facilitan la labor a los médicos a la vez que producen un aumento en su productividad. Otro beneficio se produce a la hora de confirmar una sospecha o explorar un diagnóstico alternativo.

Si hacemos un recorrido histórico en busca de sistemas expertos aplicados a la Medicina [7][8] podemos encontrar que desde que en 1972 se comenzara con el desarrollo de MYCIN, uno de los primeros y más famosos sistemas expertos aplicados a la Medicina, se ha producido en este campo un enorme desarrollo. En la actualidad estas aplicaciones van poco a poco aumentando su aceptación en los sistemas de información y diagnóstico de los hospitales.

Es por ello que se pensó en aplicar CLIPS a la realización de un sistema de diagnóstico médico en el que éste recibiera los datos pertenecientes a los síntomas y signos de cada una de las patologías analizadas. También se eligió una aplicación médica para observar de forma más clara si cabe el contraste producido entre el bajo coste en la realización de la aplicación (al ser la herramienta de programación gratuita) y la alta productividad potencial de la misma.

Para que el resultado fuera totalmente intuitivo para el usuario (el médico en su consulta) se optó por una de las extensiones del shell de CLIPS, **WXCLIPS**, que en su versión 1.64 (desarrollada por Julian Smart), además de conservar su gratuidad

(se distribuye junto con su código fuente al igual que CLIPS), proporciona al programador la posibilidad de dotar de una interfaz gráfica, al núcleo de conocimiento de CLIPS.

2.1. El síndrome diarreico: importancia y concepto

La diarrea afecta a todas las edades y razas, constituyendo una causa importante de morbilidad y mortalidad mundial. En los países en vías de desarrollo la diarrea de origen infeccioso representa la principal causa de mortalidad infantil. Cada año fallecen más de 5 millones de niños durante el primer año de vida por esta causa. Las enfermedades diarreicas constituyen, además, un problema socioeconómico considerable por el absentismo laboral que ocasionan.

La diarrea es un signo que revela una alteración fisiopatológica de una o varias funciones del intestino (secreción, digestión, absorción o motilidad) y que en último término indica un trastorno del transporte intestinal de agua y electrolitos. La diarrea se define como el aumento de volumen, fluidez o frecuencia de las deposiciones en relación con el hábito intestinal de cada individuo. Dado que el 60-75 % del peso de las heces corresponde al agua, la diarrea se debe fundamentalmente a un exceso de agua fecal.

2.2. Diarrea crónica: concepto y orientación diagnóstica

Se denomina diarrea crónica a aquella situación en la cual se produce una eliminación fecal mayor de 200 gramos diarios durante un periodo de tiempo superior a 2 semanas. Inicialmente se realiza una orientación diagnóstica tendente a descartar causas de fácil diagnóstico o, al menos, orientar sindrónicamente el cuadro diarreico, delimitando tres posibilidades como punto de partida: esteatorrea (pérdida de grasa excesiva por las heces), diarrea acuosa crónica y diarrea de origen colónico.

3. SEDDIC: Sistema Experto para la Diagnósis de la Diarrea Crónica

3.1. ¿Por qué SEDDIC?

Del centenar de causas capaces de provocar una diarrea crónica (desde un medicamento mal administrado hasta un posible tumor) un gran número de ellas es de fácil diagnóstico y requieren escasos exámenes complementarios; pero otro número considerable de causas resultan extremadamente difíciles de llegar a conocer con exactitud su etiología. Esto provoca que los profesionales de la Medicina se encuentren con diversos problemas a la hora de realizar un diagnóstico de alta fiabilidad.

SEDDIC (Sistema Experto para la Diagnósis de la Diarrea Crónica) es una herramienta informática software, concretada en una aplicación para ordenadores compatibles, cuyo objetivo es ayudar al médico especialista en patologías digestivas en la diagnosis de la diarrea crónica. La aplicación podría ser también de utilidad en doctores que ejerzan Medicina general a la hora de diagnosticar enfermos que padezcan síntomas de diarrea crónica y en el terreno universitario como herramienta de aprendizaje; nunca se pretendería que SEDDIC sustituyera las funciones del médico sino únicamente que le sirviese de

apoyo. SEDDIC trabaja bajo cualquier entorno de ventanas (MS.Windows, X-Windows,...) que permita compilar código C sobre él.

El modo de trabajo de SEDDIC es común al de otros sistemas expertos aplicados a la Medicina [7][8] como MYCIN (enfocado en la diagnosis de las enfermedades infecciosas de la sangre) y otros sistemas expertos comerciales específicos en Medicina interna (CADIAG-2) y más concretamente en alteraciones estomacales (CMD). En primer lugar, al ser consultado por el médico el sistema solicita datos generales sobre el paciente: nombre, edad, síntomas, etc. y una vez conocida esta información el sistema plantea sus hipótesis de diagnóstico.

3.2. Desarrollo

3.2.1. Adquisición del conocimiento

Una vez realizado el análisis previo del problema y la elección

del material se pasó a la fase de adquisición del conocimiento. Ésta se llevó a cabo mediante, en primer lugar, la exploración exhaustiva de la documentación existente en torno a la diarrea crónica. De entre toda la documentación existente se tomaron como punto de referencia los esquemas principales (**figura 1**) de patología elaborados por el Dr. Laso en su libro "Diagnóstico Diferencial en Medicina Interna" [3] así como la decimotercera edición en CD-ROM del libro ya clásico de Medicina Interna de los profesores Farreras y Rozman [4]. Una vez llevada a cabo la anterior tarea se consultó a especialistas en patología del aparato digestivo para que colaboraran en el proceso de verificación y validación del sistema experto realizado.

3.2.2. Esquema en la representación del conocimiento

Para la representación del conocimiento se utilizó CLIPS como sistema de producción. En éste, el conocimiento declarativo se almacena en forma de hechos y el conocimiento

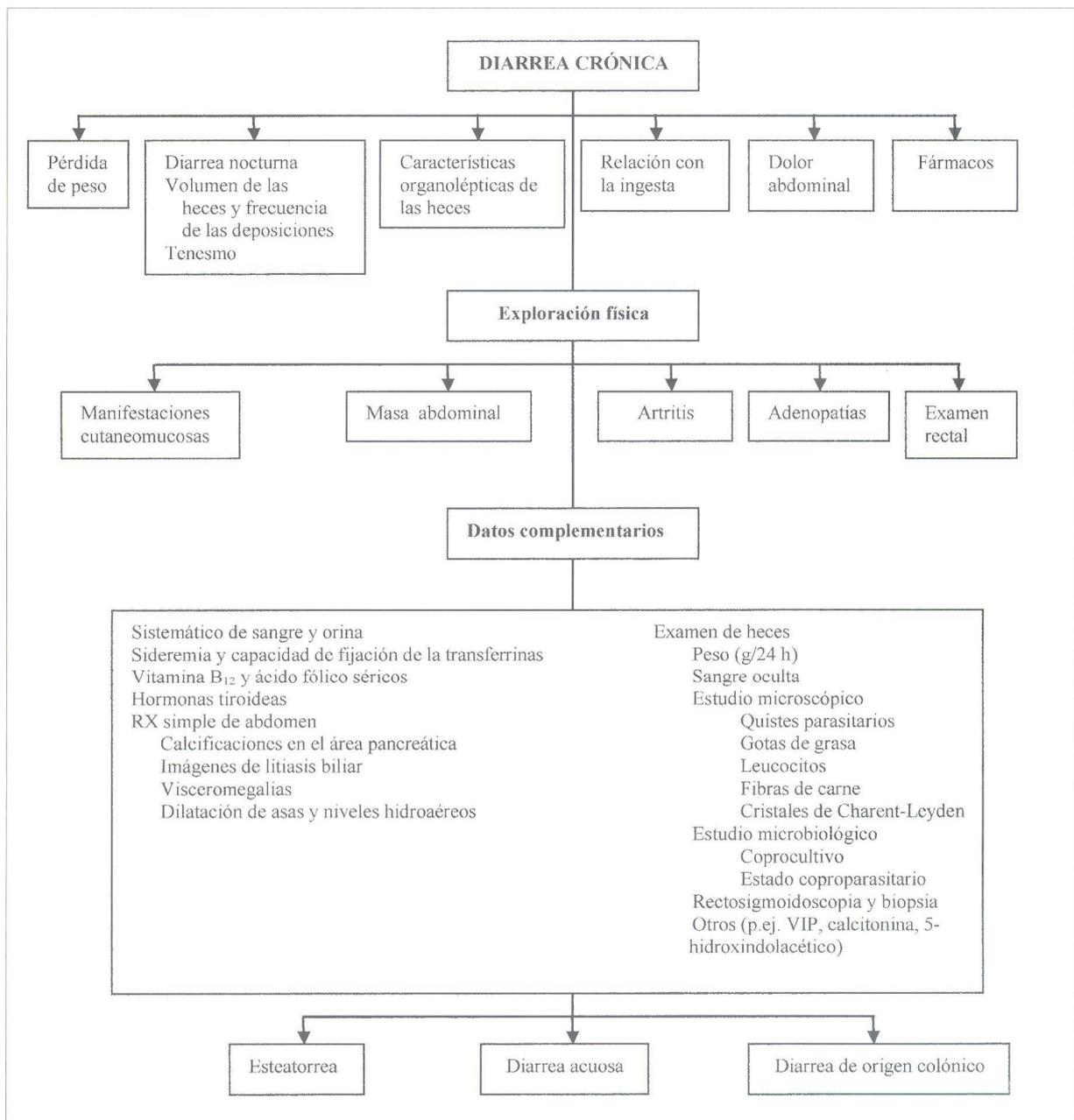


Figura 1. Evaluación inicial de una diarrea crónica

procedimental en forma de reglas. Está basado en la lógica de predicados de primer orden.

Se hizo uso de este esquema de conocimiento por adaptarse perfectamente a las necesidades de nuestro sistema experto; en el cual los hechos se asemejarían en su mayoría a los síntomas y datos del paciente, disparando éstos una serie de reglas, correspondientes al aumento de la probabilidad de alguno diagnóstico (recordemos una máxima médica que dice que ningún diagnóstico se puede considerar 100% exacto) o al descarte de otros.

3.2.3. Realización del módulo de conocimiento

Una vez estudiados los cuadros diagnósticos citados en el apartado 3.2.2, se estructuró la adquisición del conocimiento

de una forma secuencial, intentando imitar el comportamiento del médico en su consulta. Para ello se distinguieron las siguientes fases:

- Recopilación de síntomas y exploración física: en esta primera fase el sistema experto preguntará sobre la existencia o no de diferentes síntomas relacionados con o característicos del síndrome diarreico (deposiciones frecuentes, duración del proceso diarreico, volumen de las heces, sangre o pus en las heces... etc.) y sobre el resultado de la exploración física llevada a cabo sobre el paciente por el médico.
- Obtención de primeros diagnósticos: SEDDIC procesa los resultados del paso anterior (datos del paciente, síntomas, exploración física) y un primer conjunto de reglas de producción obtiene una serie de posibles diagnósticos. El resultado de esta fase es un conjunto de diagnósticos junto con su correspondiente grado de seguridad. Este grado de seguridad

| SÍNTOMAS | PRUEBA 1 | PRUEBA 2 | PRUEBA 3 |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------|
| Duración | 14 | 7 | 21 |
| Deposiciones frecuentes | Si | No | No |
| Pérdida de peso | No | Si | No |
| Volumen de las heces | Normal | Abundante | Abundante |
| Aspecto de las heces | Pastosas | Sólidas | Líquidas |
| Sangre | No | No | No |
| Moco o pus | Si | Si | No |
| Diarrea nocturna | No | Si | No |
| Fármacos laxantes | No | No | No |
| Diarrea después de la ingesta | No | Si (no lactosa) | No |
| Dolor | Si (zp, igual) | No | No |
| Tenesmo | No | Si | No |
| Hiperpigmentación cutánea | Si | No | No |
| Telangiectasias | No | Si | Si |
| Lesiones aspecto eccematoso | No | Si | No |
| Dermatitis herpetiforme | Si | No | No |
| Aftas orales | No | Si | Si |
| Pioestomatitis vegetante | No | Si | No |
| Nódulos extremidades inferiores | Si | No | No |
| Paniculitis septal | No | Si | Si |
| Infecciones estreptocócicas | Si | No | No |
| Pioderma gangrenoso | No | Si | No |
| Síndrome de Sweet | No | Si | Si |
| Esplenomegalia | No | Si | No |
| Hepatomegalia | Si | No | No |
| Masa cuadrante izquierdo | Si | No | No |
| Masa cuadrante derecho | Si | No | No |
| Artritis | No | Si | No |
| Adenopatías | No | Si | Si |
| Fístulas | No | Si | No |
| Abscesos perianales | Si | No | Si |

Tabla 1. Tablas de verificación del sistema

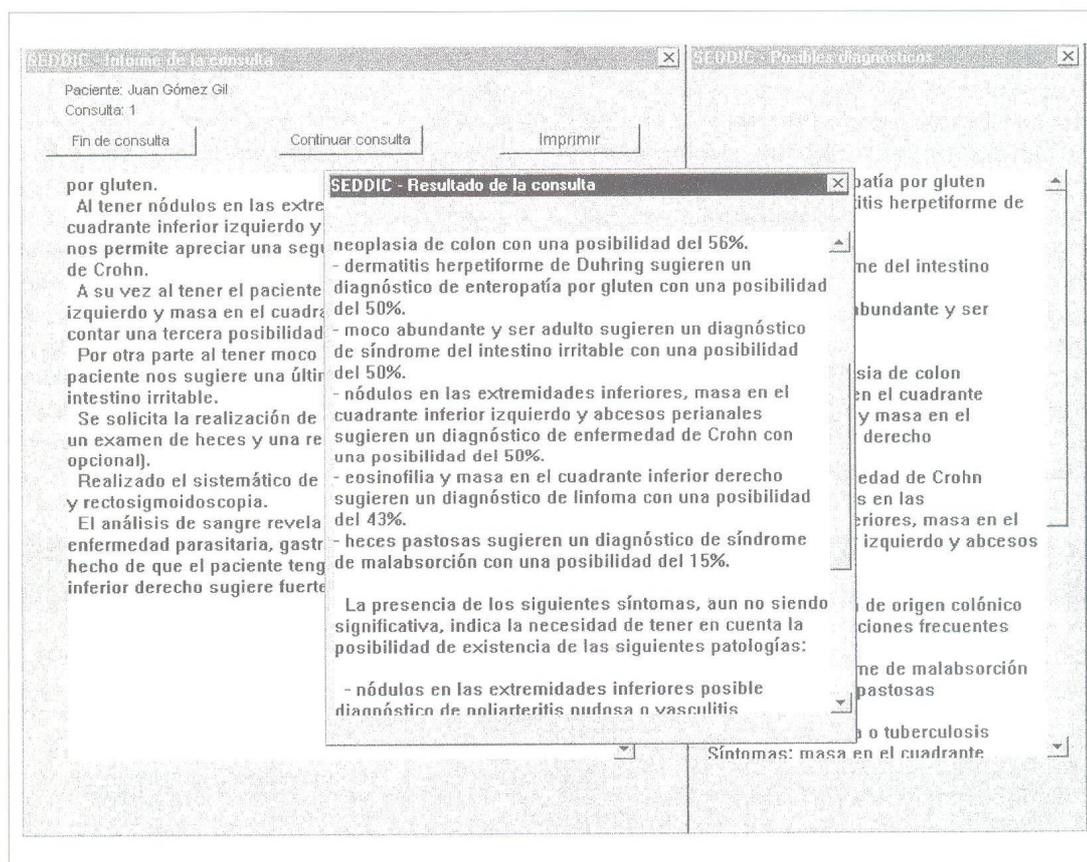


Figura 2. Ventana de resultado de consulta de SEDDIC

dad o probabilidad tiene un rango de 0 a 5, dependiendo del número de síntomas asociados a una patología, sufridos por el paciente.

- Agrupación de diagnósticos por síntomas: esta labor de reestructuración llevada a cabo internamente por SEDDIC, tiene como objetivo agrupar del conjunto de diagnósticos obtenido en la fase anterior, aquellos que partiesen de síntomas comunes; preparando así el conocimiento obtenido para ser mostrado al usuario.
- Muestra de primeros resultados: en esta cuarta fase el sistema muestra las primeras conclusiones obtenidas en forma de posibles diagnósticos. En el caso de que alguno de los diagnósticos sea de alta fiabilidad (4 o 5 en la escala de probabilidad diseñada) se informa al médico de esta circunstancia y se le da la posibilidad de dar por terminada la consulta o bien continuar con la misma en busca de otros diagnósticos alternativos.
- Realización de primeros análisis: llegados a este punto se solicitan los resultados de una serie de análisis y exploraciones complementarios sobre el paciente, entre ellos análisis de sangre, orina, y heces y exploración de recto. En caso de que el paciente no contase con ellos se almacenaría el estado de la consulta para continuar más tarde con ella.
- Obtención de segundos diagnósticos: con los datos de los análisis solicitados por SEDDIC se procesa de nuevo el conjunto de todas las fuentes de conocimiento y se le muestra al usuario. Se procede de igual forma que en la fase de primeros resultados en caso de que algún diagnóstico fuera de una alta fiabilidad.
- Decisión en el árbol de diagnóstico: una vez llegado el resultado de la consulta a este punto, sin un diagnóstico claro o sin ser aceptado éste por el médico, se decidirá sobre cuál de las tres posibles rutas principales se orientará el diagnóstico:

- esteatorrea, diarrea de origen colónico o diarrea acuosa crónica. Una vez elegido un camino diagnóstico (la elección se realizará calculando el porcentaje de síntomas sufridos por el paciente en cada uno de ellos) y comprobando que éste no fue tomado anteriormente, se disparará el análisis hacia el mismo.
- Orientación esteatorreica, colónica o acuosa de la diarrea: orientado el diagnóstico hacia una de estas tres causas, pasaremos a su correspondiente análisis y, siguiendo el conocimiento relativo a orientación y tratamiento de dicha patología, se solicitarán distintos análisis y se realizará el correspondiente recorrido del árbol característico.
- Orientación oscura del proceso diarreico: en el caso de que llegados a esta fase SEDDIC no tuviera un diagnóstico principal se analizará un posible origen oscuro de la diarrea y se obtendrán las posibles conclusiones con el conjunto de todos los datos obtenidos.

3.2.4. Módulo de interfaz gráfica

Realizado el núcleo de conocimiento se implementó, aprovechando las funciones gráficas de WXCLIPS, el interfaz gráfico. Este módulo incluye también el conjunto de funciones y reglas relacionadas con el almacenamiento y carga de ficheros (totalmente encriptados para salvaguardar la intimidad del paciente) y la gestión de la impresora. La interfaz gráfica de CEDIC (figura 2) es sencilla pero práctica, constando de cuatro ventanas: la de datos del paciente, la de ficha del paciente, la de estado de consulta y la de resultado de la consulta.

3.3. Verificación y validación

La primera de las dos tareas indispensables en la tarea de evaluación de todo sistema experto (la verificación) se llevó

a cabo mediante la realización de múltiples pruebas (**tabla 1**) en las cuales se corrigieron anomalías en el núcleo de conocimiento de SEDDIC.

Para la validación del sistema se cuenta con la colaboración del Dr. D. Ovidio Belda Laguna, del Hospital Universitario Virgen del Rocío.

4. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas con el proceso de desarrollo de SEDDIC y con el resultado final de éste sobre la mesa, se pueden resumir en tres:

- Hoy en día es posible la realización de un sistema experto con la única ayuda de una herramienta software gratuita. La calidad de un producto software no tiene porque estar condicionado a su alto precio.
- La aplicación de los sistemas expertos a la Medicina puede llegar desde un solo técnico informático, con la ayuda de médicos especializados y de una bibliografía adecuada.
- Existen herramientas de diseño de sistemas expertos de libre distribución, tales como CLIPS, que cuentan con la potencia y robustez necesaria para afrontar el desarrollo íntegro de un sistema experto.

5. Presente y futuro de CLIPS

Si bien herramientas como CLIPS 6.1 o WXCLIPS 1.61 reúnen cualidades necesarias para la realización de un sistema experto en su totalidad, las tendencias en el uso de CLIPS están convergiendo hacia el encapsulado de código CLIPS en lenguajes de propósito general. Esto es debido al gran incremento en el uso de los compiladores visuales y al enorme desarrollo de Internet (puntos en los que las versiones estándar de CLIPS han quedado algo atrasadas con respecto a las costosas herramientas comerciales).

Actualmente son muy utilizadas las librerías de enlace dinámico (**DLLs**) para el encapsulado de CLIPS. Concretamente existe una versión (la 6.10.60) de estas librerías desarrolladas por Athena Information Svcs. totalmente actualizada y sometida a prueba bajo Windows 2000 (ver apartado 6).

Finalmente es adecuado tener en cuenta que Michael Giordiano y Mark Tomlinson están reescribiendo el código fuente de CLIPS en lenguaje C++, la herramienta llevará por nombre: CLIPS++ (ver apartado 6).

6. CLIPS en la red

Direcciones de WXCLIPS:

<<http://web.ukonline.co.uk/julian.smart/wxclips/>>

Direcciones de CLIPS:

<<http://www.ghgcorp.com/clips/CLIPS.html>>

<<http://www.monmouth.com/~km2580/>>

<<http://clips.digitalbomb.com/>>

Direcciones acerca de las DLL de CLIPS:

<<http://www.monmouth.com/~km2580/dlhowto.htm>>

<<http://ourworld.compuserve.com/homepages/marktoml/dllnotes.htm>>

Direcciones de CLIPS++:

<<http://ourworld.compuserve.com/homepages/marktoml/cppproj.htm>>

<<http://clipscpp.sourceforge.net/>>

Foro de debate de CLIPS:

<<http://www.epbinc.com/clips/>>

Otras herramientas libres para la construcción de sistemas expertos (Lisp y Prolog):

<<http://clisp.cons.org/~haible/clisp.html>>

<<http://www.stat.umn.edu/~luke/xls/xlsinfo/xlsinfo.html>>

<<http://www.franz.com/products/>>

<http://www.xanalys.com/software_tools/>

<<http://www.ai.mit.edu/projects/iiip/doc/el-http/home-page.html>>

<<http://www.swi.psy.uva.nl/projects/SWI-Prolog/index.html>>

<http://ceu.fi.udc.es/SAL/F/1/SWI_PROLOG.html>

7. Referencias

- [1] Giarratano, Joseph / Riley, Gary: *Sistemas Expertos: Principios y Programación*, Thomson Editores, S.A. Madrid, España 2001.
- [2] «Neural Network and Expert Systems in Medicine and Healthcare», *Proceedings of the Third International Conference*. Pizza, Italy, 24 September 1998. Edited by E.C. Ifeachor University of Plymouth, A.Sperduti & A.Starita (University of Pizza).
- [3] Laso Guzmán, Francisco Javier: *Diagnóstico Diferencial en Medicina Interna*, Harcourt Brace de España, S.A. 1997.
- [4] Farreras / Rozman: «Edición en CD-ROM de Medicina Interna», Ediciones Doyma SA y Mosby-Doyma Libros, S.A. 1995,1996.
- [5] Awad, Elias M.: *Building Expert Systems: Principles, Procedures, and Applications*, West Publishing Company 1996.
- [6] Amador Hidalgo, Luis: *Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos*, Universidad de Córdoba, Servicio de Publicaciones, Córdoba 1997.
- [7] *Medical Expert Systems*, <<http://www.computer.privateweb.at/judith/>>
- [8] *A Medical Knowledge Base Server*, <<http://medexpert.imc.akh-wien.ac.at/>>