

SISTEMA INTELIGENTE DE RECONOCIMIENTO DE ENFERMEDAD CORONARIA (ISQUEMIA)

DIANA LUCIA CLAVIJO RODRÍGUEZ*

MARCELO BERNAL VALENCIA*

JOHN FREDDY SILVA*

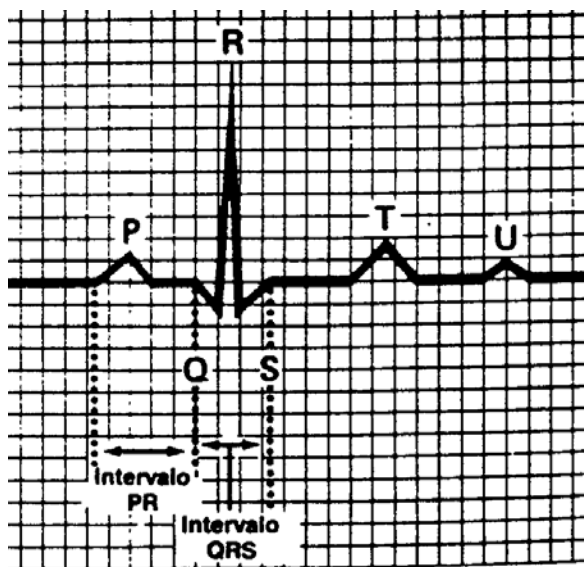
Abstract

This paper is about artificial intelligence in Medicine. Here, it tries to describe all the technologies' implications in this area. It is really important to realize the changes that the world is suffering with the computational evolution, more, if it is talking about healthcare. Soon, people will count with a lot of artificial intelligence applications in medicine which could help everyone to develop troubles easier and faster than long time ago. More than that, human must be willing to accept this new technology in their lives.

(ARCH. MED. 12, 2006 - p.p. 56-64)

Introducción

La posibilidad de una predicción automática y exacta de las fallas del corazón a partir del análisis de electrocardiogramas (ECG) podría ser una parte importante en la medicina, ya que algunas veces los cardiólogos pueden identificar enfermedades y predecir eventos catastróficos, pero no siempre tienen éxito. Sin embargo, los ECG son el resultado de sistemas dinámicos no lineales y complejos, los cuales son considerados por muchos investigadores como caóticos desde un punto de vista matemático. Las señales caóticas son extremadamente dependientes de las condiciones iniciales, parecen aleatorias o con ruido, pero son el resultado de sistemas determinísticos cerrados.



Por esta razón la predicción automática de ECG es un verdadero reto.

* Estudiantes Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones, Universidad de Manizales. dclavijo@gmail.com starmarz@gmail.com alfredo@athenea.umanizales.edu.co

Remitido para su publicación el 15 de noviembre de 2005. Aprobado para su publicación el 13 de diciembre de 2006.

1. Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales poseen una extensa aplicabilidad en el área de la medicina, en cuanto a control, prevención y monitoreo entre otras. La gran ventaja ofrecida por éstas, es su alta rapidez de respuesta, una vez hayan «aprendido».

La analogía que existe entre las redes neuronales biológicas y las artificiales, da mayor claridad de su funcionamiento y da bases para pensar en cómo es posible que una red artificial pueda trabajar en la misma forma que lo hace una biológica y que además de esto produzca resultados importantes para el avance científico y tecnológico.

Son muchos los tipos de redes utilizados en medicina para realizar diferentes desarrollos, para el reconocimiento de imágenes, diagnóstico de enfermedades, reconocimiento de la estructura proteica y demás. Por ejemplo cuando se habla de identificar ciertos patrones en señales que representan sistemas no lineales como en cardiología, se puede utilizar el perceptrón multicapa, backpropagation. Esta selección varía de acuerdo con el tipo de desarrollo que se desee realizar.

La red neuronal backpropagation ha sido utilizada debido a su gran capacidad de reconocimiento de patrones en entrenamiento supervisado, para análisis y diagnóstico de ECG (electrocardiograma).

El acercamiento del uso de sistemas basados en redes neuronales para el análisis y diagnóstico de señales biomédicas da fuerza a la idea de la interpretación automática de las mismas. Este proceso de automatización reduce la carga sobre el doctor, paramédicos o personal involucrado en situaciones de cuidado crítico. Algunos de los trabajos realizados analizan las señales tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia para

lograr una mayor precisión. Una vez que se tienen los datos analizados del paciente y almacenados, se puede proceder a realizar los cuidados respectivos.

Otro ejemplo de la utilización de las redes neuronales artificiales se podría hacer con un perceptrón sencillo que determine qué síntomas se presentan (tos, dolor de cabeza) en la meningitis, neumonía y gripa. La forma en que el perceptrón aprende es sencilla, al tomar como pesos de entrada aleatorios números para cada enfermedad como 01 meningitis, 10 neumonía, 11 gripa, 00 ausencia de enfermedad (Figura 1.1). Las entradas serían tos 1 y dolor de cabeza 0. Con esto se calcularía un error que sería el *valor obtenido* – *el valor deseado*, que será la regla para cambiar los pesos hasta disminuir el error. Este ejemplo presenta un problema al utilizar el perceptrón, ya que si los valores caen por fuera de los establecidos para cada enfermedad, se podría quedar sin tratamiento al no presentar síntomas ya que el perceptrón de una capa hace separación lineal.

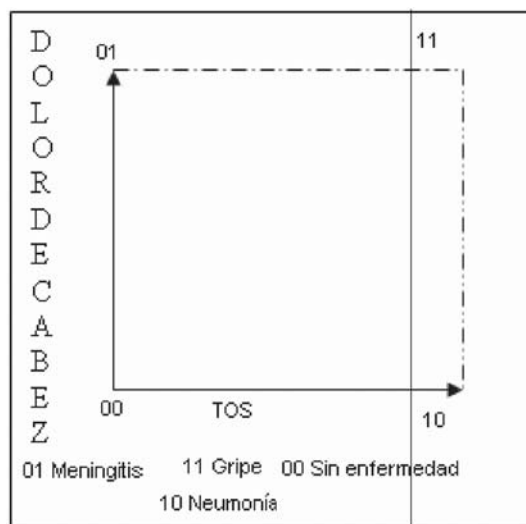


Figura 1.1 ejemplo de separación lineal

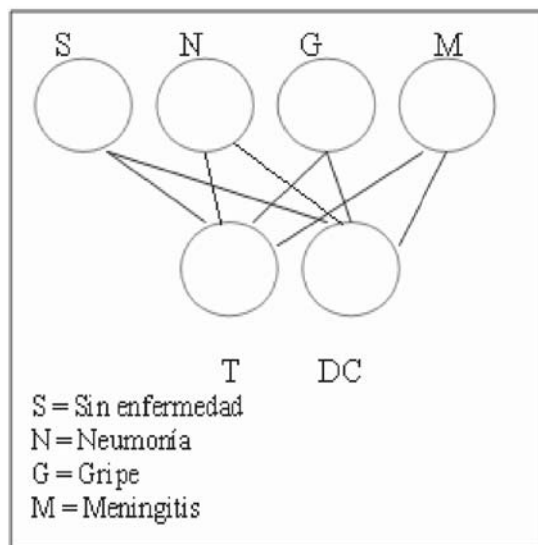


Figura 1.2 Red Neuronal Simple

Pero, para el desarrollo del sistema inteligente de reconocimiento de enfermedad coronaria (isquemia), se necesitó más que una red que hiciese separamiento lineal, una red capaz de hacer el reconocimiento no lineal, un modelo más complejo que el ejemplo anterior.

Inicialmente, se utilizó una red multicapa backpropagation:

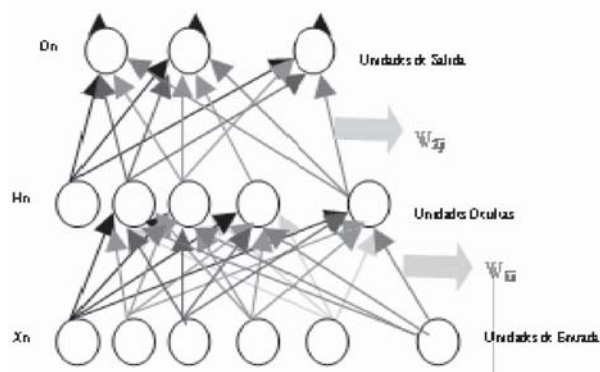


Figura 1.3. Red Multicapa

La red fue entrenada con señales electrocardiográficas con episodios de

isquemia subendocárdica, subepicárdica y normales obtenidas de la base de datos del MIT-BIH¹. Se utilizó una sola derivación precordial (V4).

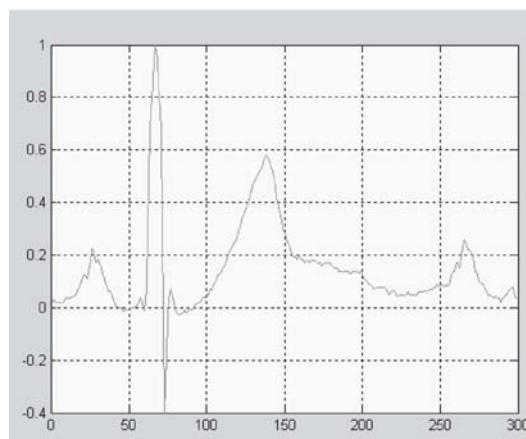


Figura 1.4 Señal con isquemia

La arquitectura de la red utilizada fue la siguiente:

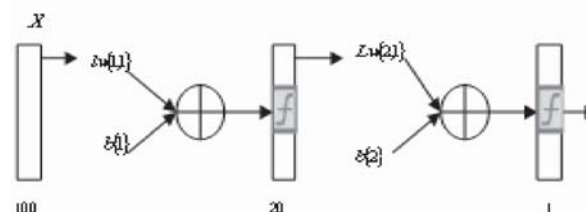


Figura 1.5 Arquitectura utilizada en el desarrollo del sistema inteligente de reconocimiento de enfermedad coronaria (isquemia).

La red backpropagation, para poder realizar el reconocimiento adecuado de los episodios de isquemia, debió ser entrenada con señales libres de ruido o por lo menos con un bajo nivel de interferencia. Dentro de la etapa de aprendizaje de la red, ésta, debió actualizar sus pesos de acuerdo al error obtenido en cada época, este error debía disminuirse cada vez, esto, gracias al gradiente descendente, el cual busca el estado de mínimo error.

1 MIT-BIH. European ST-T database. Disponible en Internet: <http://www.physionet.org/physiobank/database/#ecg>

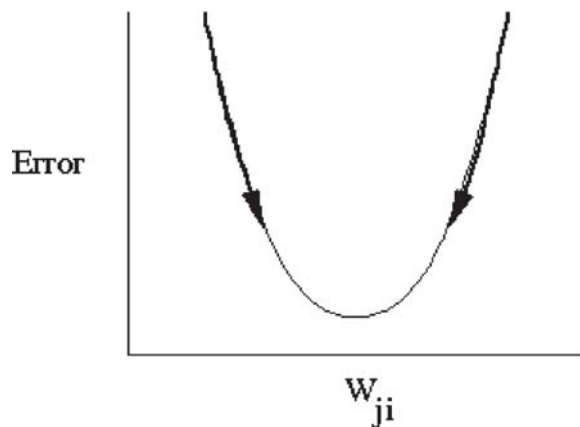


Figura 1.6

Cada unidad de entrada en una capa², está conectada en la dirección siguiente a cada unidad en la capa siguiente. Las activaciones fluyen desde la capa de entrada a través de la capa oculta, hasta la capa de salida. Luego, se evalúa el error y basándose en éste, se reajustan los pesos de conexión de cada neurona, de manera que en la siguiente vez que se presente el mismo patrón, la salida se encuentre más cercana a la deseada, es decir, el error disminuye. Al llegar al mínimo de error deseado, el entrenamiento termina, y comienza la etapa de validación de la red.

Para la validación se utilizaron 100 señales con episodios de isquemia subendocárdica, subepicárdica y normales, de estas 100 señales todas fueron correctamente identificadas por la red, obteniendo un error de 0.

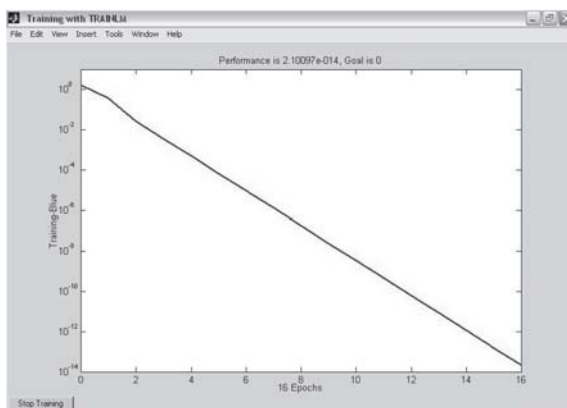


Figura 1.7 Error de Aprendizaje

El software fue desarrollado en el lenguaje de programación JAVA (Sun Microsystems), por ser un lenguaje multiplataforma.

La aplicación toma la señal electrocardiográfica en formato digital, interactúa con el usuario para determinar estados iniciales de las diferentes ondas de la señal y a continuación la divide en segmentos, finalmente realiza una serie de procesos internos para mostrar el diagnóstico obtenido, en un tiempo muy corto.

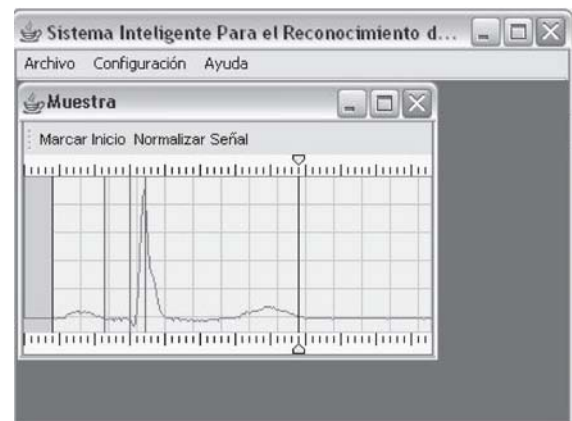
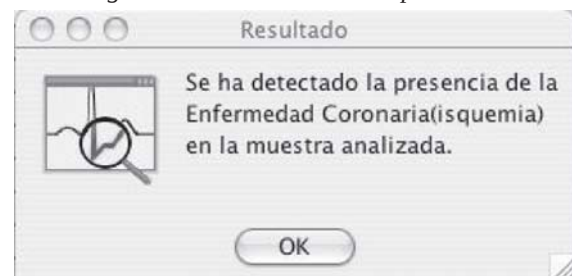


Figura 1.8 Front End de la aplicación.



Con este desarrollo se quiere plantar una semilla de conocimiento en nuestro país y con ella, una luz para quienes quieran continuar con este tipo de investigaciones y desarrollos, con esto se demuestra que sí se pueden realizar

2 Capa: conjunto de neuronas cuyas entradas provienen de la misma fuente (pudiendo ser otra capa de neuronas), y cuyas salidas se dirigen al mismo destino (también pudiendo ser otra capa de neuronas).

aplicaciones «inteligentes» capaces de ayudar a nuestros médicos y demás personas del área de la salud, a realizar sus tareas de una manera mucho más rápida y eficiente; lo cual se traduce en bienestar para el usuario (paciente).

La posibilidad de contar con un método de análisis rápido y a la vez fiable abre nuevas expectativas en su utilización a diversos sistemas de uso en pacientes en estado crítico y que requieren un tratamiento muy vigilado tanto en las unidades de cuidados intensivos como en centros de salud de nuestro país.

Este trabajo es sin duda una muestra más de lo que científicos de la computación a través de los años han querido lograr, una especie de «cerebro electrónico» capaz de almacenar y procesar inmensos almacenes de conocimiento, con la esperanza que ellos pudieran hacerse «médicos artificiales» y pudieran ayudar en rapidez, a los profesionales clínicos en el logro del diagnóstico.

Inicialmente la inteligencia artificial en medicina tenía como fines preocuparse principalmente de la construcción de programas, que realizaran diagnósticos e hicieran recomendaciones terapéuticas. Pero, a diferencia de las aplicaciones médicas basadas en otros métodos de programación, tales como métodos puramente estadísticos y probabilísticos, los programas de IA en medicina se basan en los modelos simbólicos de entidades nosológicas³ y sus relaciones con factores relacionados al paciente y sus manifestaciones clínicas. Muchos aspectos cambiaron desde entonces, y esta intención sería considerada hoy en día como limitada, en cubrimiento y visión.

Actualmente, la importancia del diagnóstico como tarea que requiere apoyo computacional en las situaciones clínicas rutinarias, ha recibido poco énfasis. Sin embargo, sigue siendo el enfoque de muchas investigaciones para en-

tender y para apoyar las citas médicas, los sistemas expertos existentes actualmente probablemente se utilizan más en el laboratorio y los ambientes educativos, para vigilancia y alertas clínicas en áreas más ricas en datos, como en la medicina intensiva. Sin embargo, en el momento, la visión recogida por esta definición de inteligencia artificial en medicina, fue revolucionaria.

Después de la primera euforia que rodeó la promesa de programas inteligentes de apoyo diagnóstico, la última década ha testificado una desilusión creciente entre muchos relacionada al potencial práctico de estos sistemas; aunque estos han demostrado su fiabilidad y precisión en ocasiones diversas. Mucha de la dificultad habita en la manera inadecuada en que los programas se habían adaptado a la práctica clínica, para resolver problemas que no se consideraban relevantes, o para imponer cambios en la manera en que los médicos trabajaban. Lo que no está percibiéndose es que cuando éstos desempeñan un papel apropiado, los sistemas inteligentes realmente ofrecen beneficios significativos.

Una de las tareas más importantes que los desarrolladores de sistemas basados en IA deben enfrentar hoy, es caracterizar de forma adecuada los aspectos de la práctica médica que son más adecuados para la introducción de sistemas inteligentes.

2. Inteligencia artificial

Por ahora será inteligencia artificial toda la tecnología y la ciencia que vaya preparando la construcción de un autómata pensante mínimo, esto es, simple y con un bajo número de atributos indispensables para ser inteligente (entendimiento de señales auditivas y visuales, uso del lenguaje natural etc.).

Más adelante, logrado este paso, se verá qué nuevo desafío comprometerá las habilidades

3 Nosología: parte de la medicina encargada de diferenciar y clasificar las enfermedades.

de sus cultores. Seguramente, se pasará del mínimo a que las máquinas auto programen sus mejoras.

La inteligencia artificial es nieta de la ciencia y tecnología de la computación, e hija de la vida artificial, al encargarse del estudio de la construcción de máquinas que realicen tareas que normalmente se asocian a la inteligencia del ser humano o de los animales con sistemas nerviosos con algo de «inteligencia».

Se puede definir como: *una ciencia de lo artificial y como un conjunto de tecnologías computacionales que se interesan en cómo se manifiesta la adaptación al ambiente, el procesamiento del lenguaje natural, la representación del conocimiento, el razonamiento y la toma de decisiones, el autoaprendizaje, la percepción por sentidos fisiológicos, la autorreflexión etc.*[1]

En el humano como en otras especies, provistas de sistemas nerviosos, ya lo aplican o hacen una mímica de los atributos anteriormente listados, en máquinas artificiales «Universales» de Turing. Las técnicas de la IA (inteligencia artificial), incluyen entre muchísimas, brazos robotizados con varios grados de libertad, demostración de teoremas, redes neuronales artificiales que diagnostican enfermedades y prescriben medicamentos, así como el reconocimiento de patrones en imágenes médicas, para nuestro caso. La simulación de la inteligencia natural la hacen a través de dos vertientes: la computación conexionista (redes neuronales) y la computación simbólica (aplicación de las reglas lógicas).

Existe otro tipo de escuela pensante creada por Arthur T. Murria, quien habla sobre los autómatas pensantes mínimos como seres u objetos que funcionan como un cerebro absolutamente simple pero inteligente. Con su concepción, se puede partir de un cerebro convencional al cual se le quita atributos que se estiman dispensables hasta llegar al punto que

ya no se le puede quitar atributos adicionales sin perder la naturaleza de un cerebro que debe conocer su entorno. El entorno está compuesto por entes agregados y no aislados.

La complicación del cerebro está condicionada por la complejidad del entorno que debe modelar e interpretar. El número de agregados incorporados al autómata mínimo debe generar una inteligencia capaz de encarar las posibles operaciones intelectuales relacionadas con los objetos adicionados a ese entorno.

Como lo mencionan Jorge E. Ortiz Triviño⁴ y Ernesto Acosta Marin⁵ en su artículo **Implementación de redes Neuronales Artificiales en Secuencias de ADN y su aprendizaje basado en selección natural**,⁶ es necesario utilizar nuevos modelos de computación para la resolución rápida y eficaz de ciertos problemas que requieran de una velocidad mayor de respuesta, los cuales realizan un trabajo en paralelo y no serialmente, obteniendo una solución mucho más rápida que si se utilizara un modelo convencional. Uno de estos modelos es la computación cuántica, que aprovecha la multilocalidad de un electrón en un instante de tiempo para hacer cálculos complejos. El segundo modelo es la computación molecular, y más específicamente la computación con ADN, que surgió como posible solución al problema del *Camino Hamiltoniano*⁷ (o *problema del viajero*), en el cual mediante 4

4 Profesor Asistente Departamento de sistemas. Universidad Nacional de Colombia.

5 Facultad De Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

6 ORTIZ TRIVIÑO, Jorge Eduardo; ACOSTA MARTIN, Ernesto., Implementación de Redes Neuronales Artificiales en Secuencias de ADN y su Aprendizaje Basado en Selección Natural., La palabra En: Inteligencia Computacional., agosto de 2001., p. 61-66

7 El problema del camino Hamiltoniano (HPP por sus siglas en inglés) consiste en encontrar por lo menos una ruta desde un punto de origen hasta un punto destino pasando por todas las ciudades intermedias una única vez. Ver [3]

pasos lógicos, rechazaban las cadenas que codificaban soluciones que no satisfacían el problema indicado hasta obtener las mejores configuraciones de redes neuronales artificiales para cualquier problema bien especificado.

3. IA y el conocimiento médico

El intelecto humano está formado por un sistema complejo de fenómenos, y la inteligencia artificial puede implementarlo de dos maneras muy diferentes.

Los defensores de la llamada «IA fuerte» están interesados en crear sistemas computacionales cuya conducta es, en determinado nivel, indistinguible de la conducta humana. En caso de que la IA fuerte consiga éxito, esto resultará en «mentes computacionales» habitando en seres físicos independientes, como robots, o quizás en mundos «virtuales», donde un espacio de información es creado por un medio como el Internet.

Una formulación alternativa a la IA fuerte es intentar entender la cognición del ser humano y decidir cómo puede ayudar en situaciones difíciles o complejas. Estos sistemas de «IA débil» no tienen por objetivo la existencia independiente, pero ser una especie de «proteasa cognitiva» que apoya a los seres humanos en tareas diversas. [2]

Los sistemas de IA son destinados en gran parte a apoyar a los profesionales de la salud en el transcurso normal de sus deberes, asistiendo en las tareas que se basen en la manipulación de datos y conocimiento. Un sistema de IA puede funcionar dentro de un sistema del registro electrónico de datos médicos, por ejemplo, alertar al médico toda vez que el programa detecta una contraindicación para un tratamiento planeado. Puede también alertar al médico cuando detecta un patrón de los datos clínicos que sugieren un cambio significativo en la condición de la salud del paciente. A de-

más, puede detectar una anomalía en el electrocardiograma, indicando alguna enfermedad coronaria.

Junto con las tareas que exigen el razonamiento usando conocimiento médico, los sistemas de IA también tienen un papel diferente del anterior, no precisan de la investigación científica. En particular, algunos sistemas de IA tienen la capacidad de aprender, conduciendo al descubrimiento de nuevos fenómenos de datos obtenidos en una investigación, y la creación automática de conocimiento médico. Por ejemplo, un computador puede ser usado para analizar grandes cantidades de datos, en búsqueda de patrones complejos que sugieren asociaciones inesperadas. De la misma forma, con un modelo suficiente de conocimiento médico, un sistema de IA puede ser usado para mostrar cómo un nuevo conjunto de observaciones experimentales está en conflicto con teorías existentes.

3.1 Pensando con el conocimiento médico

Los sistemas expertos, están basados en conocimiento, son el tipo más común de sistemas de inteligencia artificial en medicina. Contienen el conocimiento médico, normalmente referente a una tarea definida muy específica, y son capaces de razonar con datos de pacientes individuales y producir las conclusiones racionales. Aunque existen muchas variaciones, el conocimiento definido dentro de un sistema experto es típicamente representado en forma de un conjunto de reglas. Existen varios tipos diferentes de tareas clínicas a los cuales los sistemas expertos puedan ser aplicados:

Alertas y recordatorios: en situaciones de tiempo real, un sistema experto conectado a un monitor puede informar automáticamente a los médicos sobre los cambios en la condición del paciente. En circunstancias menos agudas, el programa puede examinar resultados de pruebas de laboratorios y prescripciones de

medicamentos, y enviar recordatorios por medio de E-mail.

Ayuda al diagnóstico: cuando un caso es complejo, raro, o la persona que está haciendo el diagnóstico es inexperta, un sistema experto puede ayudar a encontrar un diagnóstico más probable y seguro, basado en los datos del paciente.

Terapéutico crítico: el programa puede comprobar inconsistencias, errores y omisiones en un plan existente de tratamiento, o puede ser utilizado para formular un tratamiento basado en las condiciones específicas de un paciente y en los consensos terapéuticos recomendados.

Agentes de recuperación de información: software denominado «agentes autónomos» pueden ser enviados a buscar y recuperar información en el Internet que se considera relevante para un problema determinado. El agente contiene conocimiento de las preferencias y las necesidades del usuario y también necesita tener conocimiento médico para evaluar la importancia y utilidad de lo que encuentra.

Pero, las redes neuronales no son basadas en reglas, sino en modelos conexionistas, los cuales a diferencia de un sistema experto que solo dará un porcentaje de aproximación, dará un resultado definitivo, según hayan sido entrenadas, no se equivocarán. Algunas de sus aplicaciones pueden ser:

Reconocimiento e interpretación de imágenes: muchas imágenes médicas se pueden interpretar automáticamente, desde las radiografías planas más comunes, hasta las imágenes más complejas, como angiogramas, tomografías y resonancias magnéticas. Esto tiene valor en selecciones de masas, por ejemplo, en las cuales el programa puede indicar

las imágenes que tienen anormalidades, llamando la atención para el examen detallado del especialista.

Reconocimiento de enfermedad coronaria (isquemia): basándose en electrocardiogramas digitales, se puede entrenar adecuadamente una red neuronal artificial para que sea capaz de reconocer un cambio en el segmento ST, logrando identificar la presencia o ausencia de una enfermedad coronaria.

3.2 Sistemas diagnósticos y educativos

En las primeras décadas de la inteligencia artificial en medicina, muchos sistemas habían sido desarrollados con el objetivo de asistir a los médicos en el diagnóstico de enfermedades, típicamente con la intención de ser utilizado durante una cita clínica con un paciente.

Muchos de estos sistemas pioneros no habían llegado a salir de los laboratorios de investigación en donde habían sido concebidos, en parte porque no habían recibido la ayuda suficiente de los médicos para permitir su uso rutinario. Claramente, la base psicológica para desarrollar este tipo de ayuda se considera actualmente poco animosa, dado que la evaluación general del paciente parece ser un asunto más importante que la formulación del diagnóstico. Ver [5]

Quizás este sea uno de los motivos por los cuales la inquietud y el deseo por desarrollar sistemas inteligentes especialmente en Colombia, sea tan escaso, pero, como se mencionó anteriormente, con el trabajo aquí realizado se deja una pequeña luz al vasto conocimiento que se puede utilizar en aras de conseguir un mejor nivel de vida en nuestro país.

Referencias

- [1] <http://geocities.com/CapeCanaveral/ Hangar/4434/ai.html>.
- [2] <http://www.teco.unikarlsruhe.de/~albrecht/neuro/html/node53.html>
- [3] L. Adleman, Molecular Computation of solutions to combinatorial problems, Science, 226 (1994), 1021-1024
- [4] <http://www.lcs.mgh.harvard.edu/>
- [5] <http://www.coiera.com/bk-intro.htm>
- [6] <http://rfs8012.fh-regensburg.de/~saj39122/jfroehl/diplom/e-sample.html>
- [7] S. Y. Kung., DIGITAL NEURAL NETWORKS. 1993 by PTR Prentice Hall, Inc.
- [8] C. Lau., Neural Networks, Theoretical Foundations and Analysis. 1991, IEEE Press.
- [9] FAUSETT L., Fundamentals of Neural Networks, Prentice-Hall, 1994. ISBN 0 13 042250 9.
- [10] GURNEY K., An Introduction to Neural Networks, UCL Press, 1997, ISBN 1 85728 503 4