

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA A LA MEDICINA

María José Hermoso Sánchez

Universidad Carlos III
Madrid
100039002@alumnos.uc3m.es

Carlos Crespillo Mirón

Universidad Carlos III
Madrid
100039584@alumnos.uc3m.es

RESUMEN

En este documento se muestra la evolución del campo de la medicina gracias a la intervención de la inteligencia artificial. Se tratará el tema de la robótica y su aplicación en la cirugía; y el diagnóstico de enfermedades gracias a las redes neuronales y a los sistemas expertos, en particular se verá el ejemplo de Mycin. Se analizarán las ventajas e inconvenientes de éstos métodos y gracias a estos resultados obtendremos una serie de conclusiones.

Términos Generales

Medicina, robótica, sistemas expertos, redes neuronales.

Palabras Clave

Medicina, robótica, sistema, experto, red neuronal, Mycin, telemedicina, cirugía, diagnóstico, inteligencia.

1. INTRODUCCIÓN

La primera revolución en la cirugía se dio a finales del siglo XIX, cuando se unieron los esfuerzos de Bilroth con sus nuevas técnicas e instrumentos, de Lister con la antisepsia, de

Virchow con la patología y de Moore con la anestesia. Desde entonces, sólo se habían logrado pequeñas variaciones en las técnicas e instrumentales utilizados en cirugía. Inclusive algunas de las pinzas que se utilizan rutinariamente en cirugía laparoscopia son las mismas que se utilizaron hace treinta años para la manipulación de materiales tóxicos y radioactivos.

Pero las cosas han cambiado aunque ocasionalmente no nos demos cuenta, la medicina está llena de información digital. En respuesta a las demandas de los cirujanos, la industria madre de la cirugía robótica se encuentra actualmente trabajando en el desarrollo de nuevos accesorios –entre los que se destacan las suturas automáticas o los sistemas de estabilización del corazón. El concepto tradicional de cirugía, que implica cortar, coser y tocar los órganos y tejidos del paciente va a quedar definitivamente obsoleto de aquí a un par de décadas. La miniaturización de las herramientas, los avances del vídeo, las imágenes en tres dimensiones y las técnicas endoscopias facilitan las intervenciones no inválidas, incluso en lugares de difícil acceso. A partir de esto lograrán crearse modelos informáticos que sirvan posteriormente para entrenamiento virtual. De esta forma los equipos médicos podrán practicar y adquirir destreza en distintas modalidades quirúrgicas sin poner en peligro a ningún paciente.

2. ROBÓTICA

2.1. ANTECEDENTES

El concepto de máquinas automatizadas se remonta a la antigüedad, con mitos de seres mecánicos vivientes. Los autómatas, o máquinas semejantes a personas, ya aparecían en los relojes de las iglesias medievales, y los relojeros del siglo XVIII eran famosos por sus ingeniosas criaturas mecánicas.

El primer robot controlador realimentado fue el regulador de Watt, inventado en 1788 por el ingeniero británico James Watt. Este dispositivo constaba de dos bolas metálicas unidas al eje motor de una máquina de vapor y conectadas con una válvula que regulaba el flujo de vapor. A medida que aumentaba la velocidad de la máquina de vapor, las bolas se alejaban del eje debido a la fuerza centrífuga, con lo que cerraban la válvula. Esto hacía que disminuyera el flujo de vapor a la máquina y por tanto la velocidad. El control por realimentación, el desarrollo de herramientas especializadas y la división del trabajo en tareas más pequeñas que pudieran realizar obreros o máquinas fueron ingredientes esenciales en la automatización de las fábricas en el siglo XVIII. A medida que mejoraba la tecnología se desarrollaron máquinas especializadas para tareas como poner tapones a las botellas o verter caucho líquido en moldes para neumáticos. Sin embargo, ninguna de estas máquinas tenía la versatilidad del brazo humano, y no podían alcanzar objetos alejados y colocarlos en la posición deseada.

El desarrollo del brazo artificial multiarticulado, o manipulador, llevó al moderno robot. El inventor estadounidense George Devol desarrolló en 1954 un brazo primitivo que se podía programar para realizar tareas específicas. En 1975, el ingeniero mecánico estadounidense Victor Scheinman, cuando estudiaba la carrera en la Universidad de Stanford, en California, desarrolló un manipulador polivalente realmente

flexible conocido como Brazo Manipulador Universal Programable (PUMA, siglas en inglés). El PUMA era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico multiarticulado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales.

2.1. CIRUGÍA ROBÓTICA

Para comenzar a estudiar un poco más el tema de la cirugía robótica debemos de adentrarnos hacia las bases que las sostienen. Esta es sin lugar a duda la informática (que gracias a esta se le dio paso a la cibernética). A la llegada de esta disciplina muchos cambios han ocurrido, principalmente gracias al incremento del poder y la capacidad de las computadoras. Por supuesto la medicina no podía quedar fuera, pues el uso de las computadoras y aparatos cibernéticos han ayudado en gran parte a su desarrollo. Sin darnos cuenta los médicos hacen uso de la tecnología en su vida diaria: el paciente hace la cita por Internet, su historia se almacena en la computadora, etc.

Un estudiante de medicina ya no tiene que imaginar cómo son las ramas de la aorta; ahora puede sentarse frente a su computadora personal para observarla, rodearla, y reconocer sus órganos vecinos, inclusive puede tocarla o si lo desea puede navegar en su interior y sentir la textura de una placa ateromatosa. De igual manera, un cirujano puede navegar por el tracto gastrointestinal, ver una úlcera, sentirla, hacer una biopsia virtual, predecir qué ocurriría con el tratamiento médico e inclusive realizar la cirugía a su paciente cuantas veces lo desee antes de llevarlo al quirófano.

Más ejemplos de este tipo de avances es el uso de la telemedicina. La telemedicina es la utilización de las comunicaciones basadas en la informática (telemática), en el campo médico. Es la transmisión de la historia clínica, radiografías, placas de patología e intervenciones quirúrgicas

con el objetivo de realizar una ínter consulta, brindar educación, entrenamiento o asistencia a un cirujano que se encuentra a distancia.

Dentro de la telemedicina se encuentra a lo que se le llama tele conferencias que es la realización de una conferencia en vivo, en la cual el expositor permanece en su lugar de trabajo sin tener la necesidad de viajar hasta el sitio donde se encuentran los participantes. Éstos a su vez, tienen la posibilidad de interactuar con el expositor, realizando preguntas y discutiendo los casos a pesar de encontrarse a cientos de kilómetros de distancia.

Todos estos factores se conjuntan y nos sientan las bases para el punto al que queremos llegar: el uso de la cirugía robótica.

Estos no se podrían realizar si no existieran los llamados robots para cirugía, ni el uso de aparatos para la exploración del cuerpo humano.

Cuando se menciona la palabra "robot" se puede pensar en diferentes cosas. Si ahora hablamos de "robots en medicina" la confusión es aún mayor y el rango del pensamiento va desde simples equipos de laboratorio a robots quirúrgicos altamente complejos que tanto pueden ayudar al cirujano a realizar sus operaciones, como efectuarlas ellos mismos. ¿Cuáles son los motivos que subyacen detrás de esta idea de incorporar robots a la medicina en general y en la cirugía en particular?

Si bien existen muchas razones, las que habitualmente se invocan son: velocidad, precisión, repetitividad, fiabilidad y buena relación costo/rendimiento. Por ejemplo, el brazo robótico que sostiene el endoscopio con la cámara durante una cirugía video asistida, no experimentará fatiga cualquiera sea el tiempo que dure la operación, no presentará temblor y será capaz de realizar su trabajo adecuadamente en la décima o centésima operación, tal como en la primera. Ahora bien, el uso de robots no está

confinado al quirófano. De hecho, existen diversos equipos que han demostrado su eficacia en otras áreas, tales como los equipos de laboratorio, los robots que llevan y distribuyen fármacos dentro del hospital, los robots de rehabilitación, etc.

La cirugía robótica es un paso más avanzado ya que se trata del proceso mediante el cual es el robot el que efectúa un procedimiento quirúrgico bajo el control de un programa de computadora. En este caso, el cirujano participa generalmente en la planificación del procedimiento, pero es un observador en la implementación del plan ya que la ejecución del mismo es realizada exclusivamente por el robot. ¿Qué es lo que se obtiene con esta práctica? Se logra – entre otras cosas que no existan desviaciones de la trayectoria planificada, alta seguridad con velocidades de ejecución y maniobras totalmente predecibles. Mientras que en la cirugía robótica es el robot el que – una vez programado – realiza por sí mismo la operación, en la telecirugía existen robots que efectúan íntegramente los procedimientos pero bajo la guía del cirujano.

Como sabemos, telepresencia implica un cirujano operando desde una localidad remota, ya sea en la habitación de al lado o en las antípodas del mundo. Ello se logra manipulando brazos robóticos mediante una complicada interfase que combina retroalimentación visual, auditiva y táctil. Esta interfase es fundamental, ya que el cirujano sólo cuenta con los datos brindados por los sensores robóticos que actúan sobre el paciente. Los movimientos de las manos del cirujano son transmitidos a los brazos robóticos que los reproducen fielmente. Para los ojos del cirujano la manija que mueve en la consola y el instrumento que reproduce ese movimiento en el paciente constituye una única entidad. Esto junto al 'haptic' (dispositivo de 'force–feedback') que le da a sus manos la sensación de tacto y resistencia sobre los tejidos que manipulan los brazos robóticos, incrementan notoriamente la sensación de inmersión (Figura 1).



Figura 1: Ejemplo de cirugía asistida por computadora (robots) en ella se da una invasión mínima.

Aunque la cirugía robótica y la telecirugía tienen muchos puntos en común, los métodos usados para el control del robot y de la interfase hombre-computadora varían significativamente. Debido a la complejidad de esta interfase, la telecirugía se usa principalmente para las cirugías mínimamente invasivas, en donde se actúa con instrumentos que ingresan por pequeñas incisiones, sin usar las manos dentro de la cavidad que se está operando.

2.3 RESULTADOS

Analizamos las ventajas y desventajas del empleo de la robótica en medicina.

VENTAJAS

Pueden ayudar a los cirujanos a realizar sus operaciones, tienen velocidad, repetitividad,

fiabilidad, precisión y buena relación costo rendimiento.

Además no experimentan fatiga, cualquiera que sea que dure la operación, no presentará temblor y será capaz de realizar su trabajo adecuadamente en la décima ó centésima operación, tal como en la primera. También se logran entre otras cosas que no existan desviaciones de la trayectoria planificada y alta seguridad con velocidades de ejecución y maniobras totalmente predecibles.

Otro punto a favor para la cirugía robótica, es que, los robots actuales son más robustos, rápidos y fiables. Su capacidad de carga y repetitividad es comparativamente superior y su programación se ha facilitado considerablemente. Los robots están demostrando ser el aliado del cirujano, permitiéndole alcanzar objetivos jamás imaginados.

Otra facilidad para los cirujanos es que, los robots pueden ser manipulados fácilmente. Además la conexión con la computadora puede hacerse con un cable aéreo. La computadora el robot y el medio ambiente están en la misma mesa, cerca del usuario para facilitarle el trabajo.

DESVENTAJAS

Es muy costoso para países en pleno desarrollo.

El tiempo de duración de la programación del mismo es complicado ya que tiene que ser muy preciso en sus funciones. Una cirugía robótica es más lenta que una convencional ya que el robot está limitado a tener solo 6 movimientos a comparación de la mano humana que puede tener entre 20 y 25 movimientos diferentes.

El avance de la cirugía robótica ha quedado estancado debido a las limitaciones de la tecnología.

2.4. CONCLUSIÓN GENERAL

El hombre gracias a la tecnología puede hacer grandes aportaciones a la medicina y en general a la humanidad. La cirugía robótica es una herramienta indispensable dentro del campo de la medicina gracias a ella el hombre ha podido explorar su propio cuerpo sin necesidad de hacer una gran incisión, a realizado cirugías a grandes distancias; en fin, ha llegado a objetivos que antes eran imposibles de alcanzar pero siempre dentro de todo se encuentran detalles, así en la cirugía robótica hay ciertos límites que el hombre debe de superar, ahora el reto de los ingenieros es crear nuevas tecnologías que permitan evolucionar los sistemas establecidos.

3. SISTEMAS EXPERTOS

Es una aplicación informática capaz de solucionar un conjunto de problemas que exigen un gran conocimiento sobre un determinado tema. Un sistema experto es un conjunto de programas que, sobre una base de conocimientos, posee información de uno o mas expertos en un área específica. Se puede entender como una rama de la inteligencia artificial. Estos sistemas imitan las actividades de un humano para resolver problemas de distinta índole (no necesariamente tiene que ser de inteligencia artificial). También se dice que un SE se basa en el conocimiento declarativo (hechos sobre objetos, situaciones) y el conocimiento de control (información sobre el seguimiento de una acción).

Para que un sistema experto sea herramienta efectiva, los usuarios deben interactuar de una forma fácil, reuniendo dos capacidades para poder cumplirlo:

1ª Explicar sus razonamientos o base del conocimiento: los sistemas expertos se deben realizar siguiendo ciertas reglas o pasos

comprensibles de manera que se pueda generar la explicación para cada una de estas reglas, que a la vez se basan en hechos.

2ª Adquisición de nuevos conocimientos o integrador del sistema: son mecanismos de razonamiento que sirven para modificar los conocimientos anteriores. Sobre la base de lo anterior se puede decir que los sistemas expertos son el producto de investigaciones en el campo de la inteligencia artificial ya que ésta no intenta sustituir a los expertos humanos, sino que se desea ayudarlos a realizar con más rapidez y eficacia todas las tareas que realiza.

Debido a esto en la actualidad se están mezclando diferentes técnicas o aplicaciones aprovechando las ventajas que cada una de estas ofrece para poder tener empresas más seguras. Un ejemplo de estas técnicas sería los agentes que tienen la capacidad de negociar y navegar a través de recursos en línea; y es por eso que en la actualidad juega un papel preponderante en los sistemas expertos.

Un Sistema Experto está conformado por:

Base de conocimientos(BC): Contiene conocimiento modelado extraído del diálogo con un experto.

Base de hechos(Memoria de trabajo): contiene los hechos sobre un problema que se ha descubierto durante el análisis.

Motor de inferencia: Modela el proceso de razonamiento humano.

Módulos de justificación: Explica el razonamiento utilizado por el sistema para llegar a una determinada conclusión.

Interfaz de usuario: es la interacción entre el SE y el usuario, y se realiza mediante el lenguaje natural.

3.2 RESULTADOS

VENTAJAS

Permanencia: A diferencia de un experto humano un SE (sistema experto) no envejece, y por tanto no sufre pérdida de facultades con el paso del tiempo.

Duplicación: Una vez programado un SE lo podemos duplicar infinitas veces.

Rapidez: Un SE puede obtener información de una base de datos y realizar cálculos numéricos mucho más rápido que cualquier ser humano.

Bajo costo: A pesar de que el costo inicial pueda ser elevado, gracias a la capacidad de duplicación el coste finalmente es bajo.

Entornos peligrosos: Un SE puede trabajar en entornos peligrosos o dañinos para el ser humano.

Fiabilidad: Los SE no se ven afectados por condiciones externas, un humano sí (cansancio, presión, etc.).

Consolidar varios conocimientos

Apoyo Académico...

LIMITACIONES

Sentido común: Para un Sistema Experto no hay nada obvio. Por ejemplo, un sistema experto sobre medicina podría admitir que un hombre lleva 40 meses embarazado, a no ser que se especifique que esto no es posible ya que un hombre no puede procrear hijos.

Lenguaje natural: Con un experto humano podemos mantener una conversación informal mientras que con un SE no podemos.

Capacidad de aprendizaje: Cualquier persona aprende con relativa facilidad de sus errores y de

errores ajenos, que un SE haga esto es muy complicado.

Perspectiva global: Un experto humano es capaz de distinguir cuales son las cuestiones relevantes de un problema y separarlas de cuestiones secundarias.

Capacidad sensorial: Un SE carece de sentidos.

Flexibilidad: Un humano es sumamente flexible a la hora de aceptar datos para la resolución de un problema.

Conocimiento no estructurado: Un SE no es capaz de manejar conocimiento poco estructurado.

3.3 APLICACIÓN: MYCIN

El funcionamiento de Mycin se basaba principalmente en un sencillo motor de inferencia, que manejaba una base de conocimiento de aproximadamente unas 500 reglas. El programa capturaba las entradas a partir de una serie de preguntas (como por ejemplo, ¿Tiene el paciente molestias en el pecho?, o ¿Ha sido operado el paciente anteriormente?), que usualmente respondía el médico del paciente. Tras este proceso, Mycin mostraba la salida por pantalla, que consistía en una serie de posibles enfermedades (ordenadas por su probabilidad asociada), la explicación del por qué de cada uno de estos diagnósticos, y una serie de recomendaciones sobre el tratamiento a seguir por el paciente. Para calcular la probabilidad de cada uno de los resultados, los autores desarrollaron una técnica empírica basada en factores de certeza. Estos factores de certeza se calculaban de tal manera que en función de unas evidencias se asigna a la hipótesis un factor de certeza.

Pero una de las debilidades del Mycin, es que si se equivocaba de quien era el responsable. Por ello optamos por investigar otra vía, las redes neuronales.

4. REDES NEURONALES

4.1 INTRODUCCIÓN

Las RNAs aparecieron en los años '40, cuando por primera vez se desarrolló un modelo matemático simple de una neurona. Luego de este desarrollo, transcurrió una década de gestación que fue seguida por un período de entusiasmo y grandes expectativas. Durante estos años se demostró la aplicabilidad de las RNAs a la solución de una gran variedad de problemas simples. Sin embargo, métodos que sirvieron para el análisis de casos simples fallaron cuando fueron aplicados a problemas más complejos. Hacia finales de la década del '60, se demostró que existían límites fundamentales en lo que una RNA podía calcular. A partir de ese momento, el tema de las RNAs entró en un período de hibernación durante el cual la actividad de investigación en el área se redujo al mínimo. Sin embargo, a principios de la década del '80 el tema resurgió a partir del trabajo de algunos investigadores que lograron resolver los problemas encontrados casi quince años antes. A partir de entonces, el número de trabajos dedicados a RNAs creció exponencialmente. Los primeros trabajos en el campo de la Medicina aparecieron en el año 1989, y desde entonces se ha desarrollado una creciente actividad en diversas áreas, especialmente en las relacionadas con diagnóstico. Esta misma actividad se ha observado en todas las áreas de la ciencia, donde las RNAs han aparecido como una alternativa a herramientas más tradicionales en el análisis de datos tales como la regresión lineal múltiple.

4.2. ¿QUÉ ES UNA RED NEURONAL?

Las redes neuronales artificiales son procesadores de información inspirados en el funcionamiento de los sistemas nerviosos biológicos. A pesar de que la velocidad de

procesamiento de las células nerviosas es muy lenta (del orden del milisegundo), el cerebro es una máquina de cálculo muy eficiente porque posee una cantidad enorme de neuronas y sinapsis (del orden de 10^{10} y 10^{13} , respectivamente). Una de las características fundamentales de las redes neuronales artificiales es que, al igual que el cerebro, son procesadores distribuidos de características masivamente paralelas. En su funcionamiento, nos recuerdan al cerebro en dos aspectos:

1. el conocimiento es adquirido a través de un proceso de aprendizaje, y
 2. la fuerza de las conexiones interneuronales, conocida como peso sináptico, se utiliza para almacenar el conocimiento.
- Las redes neuronales pueden configurarse para llevar a cabo tareas específicas como por ejemplo el reconocimiento de imágenes. Esta configuración se logra a través de un proceso de aprendizaje el cual, al igual que en los sistemas biológicos, involucra el ajuste de las conexiones sinápticas que existen entre las neuronas.
3. ¿En qué tipo de situaciones puede ser conveniente usar redes neuronales?

Las RNAs se han utilizado en el tratamiento de una amplia variedad de situaciones, las cuales pueden agruparse en general en los siguientes casos:

- Cuando es difícil encontrar una solución simple basada en modelos construidos a partir de primeros principios. Una de las aplicaciones más importantes de las redes neuronales artificiales ha sido el análisis de problemas que son demasiado complejos para resolver a través del uso de tecnologías convencionales, ya sea porque los problemas no tienen una solución algorítmica, o porque el algoritmo de resolución es demasiado complejo para ser desarrollado.

- Cuando hay gran cantidad de datos para entrenar la red. Las RNA son particularmente útiles en el análisis de problemas donde existe un gran número de variables de entrada, y no hay una indicación clara de la importancia relativa de cada uno.

- Cuando los nuevos datos que entran al sistema tienen que ser procesados a gran velocidad.

Cuando el método de procesamiento de los datos debe ser robusto ante niveles moderados de ruido en los datos de entrada. Es decir, cuando se requiere que el algoritmo de procesamiento sea insensible a pequeñas variaciones en los datos de entrada.

4.3. RESULTADOS

VENTAJAS DE LAS RNAS

La notable potencia de cálculo de las RNAs deriva de su estructura distribuida y masivamente paralela y de su habilidad para aprender y generalizar, donde por generalización entendemos la producción de resultados razonables a partir de datos de entrada que no fueron presentados durante el entrenamiento. Estas dos características le permiten a las RNAs resolver problemas complejos que de otra forma serían intratables. El enfoque basado en RNAs tiene varios beneficios cuando se lo aplica al procesamiento de información médica:

- Se entrenan a través de ejemplos en lugar de reglas.

- Permite una rápida identificación,

- Permite el análisis de situaciones y el diagnóstico a tiempo real.

- Elimina problemas relacionados con la fatiga y la habituación humana.

Aunque el procesamiento utilizando RNAs ha mostrado algunos éxitos notables, es importante reconocer sin embargo, que estamos a una gran distancia de construir una computadora que imite al cerebro humano.

4.4. APLICACIONES CLÍNICAS DE REDES NEURONALES

El procesamiento de datos basado en el análisis mediante RNAs promete convertirse en una técnica difundida en el tratamiento de problemas biomédicos en los próximos años. En los últimos cinco años, la tasa de publicación de artículos que usan RNAs para el análisis de problemas en áreas relacionadas con la medicina ha crecido de tal manera que se publican cientos de trabajos por año.

Las RNAs han sido aplicadas con éxito en áreas tales como diagnóstico, análisis bioquímico, procesamiento de imágenes y desarrollo de drogas. En el área de diagnóstico se pueden citar, por ejemplo, aplicaciones a la diagnosis de apendicitis, demencia, infarto de miocardio, epilepsia, enfermedades pulmonares y coronarias, entre otras. Las RNAs se han utilizado también en el análisis de imágenes radiográficas, mamografías, ultrasonido y RMN, y en la interpretación de electrocardiogramas, electroencefalogramas y fonocardiografías. En el campo de la bioquímica, las RNAs se utilizan en una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la química analítica. En particular, han sido utilizadas para analizar muestras de orina y sangre, determinar niveles iónicos en fluidos corporales y detectar condiciones tales como tuberculosis. Finalmente, en el campo de desarrollo de nuevas drogas, las RNAs han sido usadas como herramienta en el desarrollo de drogas para tratar cáncer y SIDA, en el proceso de modelado de biomoléculas, y en la predicción de la sensibilidad de tumores a ciertas drogas.

4.5. CONCLUSIONES

Tanto su flexibilidad y capacidad de generalización como su habilidad para diagnosticar con notable precisión en diversas áreas, permiten afirmar que las RNAs se convertirán en un futuro próximo en una herramienta difundida en el análisis de problemas biomédicos. Sin embargo, y a pesar de sus éxitos iniciales, se requiere aún una considerable cantidad de trabajo antes que las RNAs puedan ser aceptadas como una asistencia clínica legítima.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Juan Carlos Góngora Arango. *La cirugía del siglo XXI las nuevas tecnologías*. Cirugía General, Cirugía Laparoscópica Avanzada. Instituto de de las ciencias de la salud Medellín, Colombia. Instituto de Investigación Contra el Cáncer del Aparato Digestivo IRCAD,
- [2] *Cirugía Robótica* Dr. Rodolfo Altrudi Jefe de Unidad Cirugía General Coordinador de Informática Biomédica Hospital Gral. de Agudos F. Santojanni Vicepresidente del Grupo de Informática Biomédica de Buenos Aires
- [3] Cross SS, Harrison RF, Kennedy RL. Introduction to neural networks, *Lancet* 1995; 346:1075-9
- [4] Baxt WG. Application of artificial neural networks to clinical medicine, *Lancet* 1995; 346:1135-38
Dybowski R, Gant V. Artificial neural networks in pathology and medical laboratories, *Lancet* 1995; 346:1203-7
- [5] También es posible acceder a una multitud de sitios dedicados a redes neuronales artificiales en Internet. Una dirección interesante relacionada con RNAs en medicina es la siguiente, perteneciente al Pacific Northwest National Laboratory:
<http://www.emsl.pnl.gov:2080/proj/neuron/>
- [6] Para una introducción elemental al tema de redes neuronales aplicadas al procesamiento de datos, puede consultarse la siguiente referencia: - Smith M. *Neural networks for statistical modeling* (Van Nostrand, New York, 1994).
- [7] Una comprensión más profunda del tema requiere de la lectura de libros relativamente más complejos, tales como: - Haykin S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. Macmillan Pub. Co., New York, 1994 -

Bishop CM. *Neural networks for pattern recognition*. Clarendon Press, Oxford, 1998.

[8] <http://es.wikipedia.org/wiki/Mycin>

[9] http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_experto