

# Inteligencia artificial. Sistema experto para ayuda en el diagnóstico de anemias (SEADA)

MARIBEL ÁVILA ARZUZA<sup>1</sup>, ANA MARÍA VIÑAS GUTIÉRREZ<sup>1</sup>, EDUARDO MERCADO PARRA<sup>1</sup>,  
ARCELIO U. BLANCO NÚÑEZ<sup>2</sup>, y EDUARDO RUEDA ARMELLA<sup>3</sup>

---

Los "Sistemas Expertos" (SE) están siendo utilizados ampliamente en el campo médico para permitir que los conocimientos que un experto adquiere durante su labor no se pierdan. El SEADA fue creado para que sirva de apoyo a médicos que necesitan orientar el estudio y tratamiento de la anemia de pacientes que la sufren, usando la ayuda de un microcomputador. El sistema contesta preguntas acerca de su modo de razonamiento y por ésta y otras características que cumple como SE, es una buena herramienta para la preparación académica de estudiantes en Hematología. La importancia del SEADA radica en la seguridad y rapidez del diagnóstico, lo que trae reducción de costos al evitarle al paciente exámenes innecesarios produciéndose, por ende, un diagnóstico y tratamiento más oportuno.

**Palabras claves:** SEADA, Anemia, Sistemas Expertos, Inteligencia Artificial.

---

## Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) forma parte de las ciencias de la computación y busca desarrollar programas de computador inteligentes, esto es, que resuelven problemas de tal forma que las soluciones serían consideradas inteligentes si las hubiera realizado un humano (1). Uno de los campos de desarrollo de la IA son los Sistemas Expertos (SE). En medicina se han desarrollado muchos SE y entre ellos tenemos (2):

AI / COAG - ayuda al médico en el diagnóstico de hemostasis usando pruebas de coagulación del laboratorio.

EMERGE - ayuda al médico en el análisis del dolor torácico en un servicio de emergencia.

GALEN - ayuda en el diagnóstico de las enfermedades cardíacas congénitas en niños.

WHEEZE - diagnostica presencia y severidad de la enfermedad pulmonar, interpretando las pruebas de función pulmonar.

VM - identifica condiciones de alarma posibles y sugiere tratamiento de pacientes hospitalizados en una UCI.

El trabajo "Sistema Experto para Ayuda en el Diagnóstico de Anemias" (SEADA) es el producto de un esfuerzo interdisciplinario, tendiente a poner al servicio de la salud los avances tecnológicos de la ingeniería de sistemas. Acumulando los conocimientos de un médico internista se pretende servir a un médico general en la identificación de la

---

1. Ingenieros de Sistemas. Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia.

2. M.D. Internista. Instituto de Seguros Sociales (ISS) Seccional Atlántico. Profesor del Departamento de Ciencias Clínicas. División de Ciencias de la Salud. Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia.

3. Ingeniero Electrónico. Texins de Colombia. Barranquilla, Colombia.

© Universidad del Norte.

enfermedad o deficiencia que produce el síndrome de anemia en un paciente.

Para determinar la posibilidad de implementación y justificación de la construcción del SEADA, se estudiaron ciertos parámetros predefinidos en la teoría de SE (3), como son:

- Los expertos genuinos existen. Como el SEADA es un experto en anemia, se hace necesario que existan profesionales especializados de los que se pueda extraer el conocimiento y estos son los hematólogos. En el caso actual actuó como experto un médico internista asesorado por un hematólogo.

- La tarea sólo debe requerir destreza cognoscitiva. El diagnóstico de anemias se puede realizar objetivamente, analizando los resultados de las pruebas de laboratorio, y subjetivamente, observando síntomas en el paciente. El sistema desarrollado analiza los resultados proporcionados por los médicos o paramédicos, quienes son los encargados de las manipulaciones físicas del paciente.

- La tarea no debe ser extremadamente compleja. Con respecto al diagnóstico de anemias, tal vez haya demora en cuanto a la obtención de los resultados del laboratorio, pero un informe cuidadoso del examen físico, de la historia clínica y de ciertos estudios de laboratorio debería revelar evidencias suficientes para clasificar la anemia y determinar el mecanismo y causa de ésta.

### **Materiales**

La relación de recursos utilizados es la siguiente:

1. Un equipo **Texas Instruments Portable Profesional Computer** con las características que se describen a continuación:
  - 768 K de memoria principal.
  - Una unidad de disco duro con 10 Megabytes de espacio de almacenamiento.
  - Una unidad de disquete doble cara doble densidad.
  - Sistema operativo MS-DOS versión 2.3.
  - Monitor a color.
  - Gráfica de tres planos.
  - Tarjetas de gráficas.
2. Un equipo **Texas Instruments Business-Pro** con las características siguientes:
  - 512 K de memoria principal.
  - Una unidad de disquete doble cara doble densidad.
  - Una unidad de disco dura con 40 Megabytes de espacio de almacenamiento.
  - Sistema operativo MS-DOS versión 3.1.
  - Monitor a color.

- Tarjeta de gráficas.
- Gráfica de tres planos.

“Software”

1. **Texas Instruments Personal Consultant Plus Expert System Development Tools**, versión 1.1. Este paquete fue diseñado en lenguaje PC-Scheme (versión 1.1) de **Texas Instruments Incorporated**.
2. **SAM Graphics Editor**, versión 1.0 de **Texas Instruments Incorporated**.

### **Métodos**

La anemia es clasificada usualmente de acuerdo con la etiología, fisiología o morfología.

La clasificación etiológica tiene el inconveniente de carecer de una división clara y, por tanto, es algo ambigua; por ejemplo, las anemias asociadas con producción alterada de eritrocitos pueden estar asociadas con exceso de hemólisis. Las anemias por deficiencia de hierro deberían incluirse en las pérdidas crónicas y no ser clasificadas aparte.

La clasificación fisiológica es un poco difícil si la fisiopatología es vista como una causa; ejemplo, cuando la anemia resulta de más de un factor, tal como destrucción incrementada y producción disminuida de eritrocitos.

Cada clasificación de las mencionadas tiene inconvenientes cuando es usada en forma aislada; sin embargo, todas son muy útiles en hematología clínica cuando son usadas en conjunto. Determinaciones de las características morfológicas de la anemia y del mecanismo de su producción son pasos importantes durante la investigación de la causa correspondiente, la cual es el objetivo de todo diagnóstico (4).

El sistema se diseñó usando la clasificación morfológica de las anemias como criterio inicial, ya que esta clasificación permite dirigir la investigación futura hacia un grupo definitivo de factores causales o síndromes clínicos y elimina otros de consideración. De esta forma, cuando ya se tiene la clase a la que pertenece la anemia, de acuerdo con la caracterización de los glóbulos rojos, se dirige la investigación hacia la clasificación etiológica y fisiológica.

Como punto de partida, el sistema requiere los resultados del hemograma y extendido de sangre periférica, a partir de los cuales se determina o no la presencia de anemia en el paciente. En caso afirmativo, sugiere los exámenes que permitirán identificar el tipo de anemia. Habiéndose logrado esto, el sistema inicia la labor de tratar de averiguar el mecanismo causante de la anemia el cual es, en

últimas, el objetivo del tratamiento por parte del médico. La Fig. 1 muestra el esquema de funcionamiento del S.E.A.D.A.

### Conceptos de sistemas expertos

En términos bastante sencillos, un "Sistema Experto" puede definirse como un refinado "software" que manipula conocimientos que se obtienen a partir de la habilidad de un experto, de manera efectiva y eficiente, para proporcionar soluciones básicas e inteligentes a un determinado problema (5).

Una manera bastante gráfica de describir las características de un "Sistema Experto" consiste en compararlo con su homólogo: el experto humano, analizando las ventajas y desventajas del uno con respecto al otro (6). Ver tablas 1 y 2.

Un "Sistema Experto" consta básicamente de dos componentes: una base de conocimientos y un motor de inferencias o programación de sistemas lógicos. Este último utiliza las reglas de la base de conocimientos para hacer inferencias basado en la información que se conoce y en la que suministra el usuario.

#### Base de conocimientos

La base de conocimientos tiene la información organizada en una estructura de árbol. Se manejan

los conceptos de marcos, parámetros y reglas. En el SEADA, cada marco constituye un problema a cubrir (un grupo o clase de anemia); cada marco tiene asociado un grupo de parámetros y un grupo de reglas.

Las reglas son las que determinan la solución del problema y es por esto que el tamaño de los "Sistemas Expertos" está determinado por el número de reglas que contienen. El tamaño proyectado para este trabajo fue inicialmente de 100 reglas, pero el tema resultó tan amplio, que se construyeron 250 reglas aproximadamente. Un "Sistema Experto" de tamaño medio tiene en promedio 500 reglas y un prototipo inicial puede ser de sólo 50 reglas.

#### Motor de inferencias

Para desarrollar el sistema se utilizó una herramienta especializada en la construcción de dichos sistemas llamada "Personal Consultant Plus", desarrollada por Texas Instruments. Esta herramienta usa un método de razonamiento orientado a una meta, en donde el proceso de inferencia está formado por el logro de submetas que se generan a medida que el sistema avanza en la solución del problema; las metas se referencian en la propiedad de los marcos llamada "goals" y en este caso las metas del marco raíz son: primero determinar si el paciente tiene anemia y segundo llegar a clasificar y diagnosticar la anemia.

**TABLA 1. Ventajas de los "Sistemas Expertos"**

Experto humano	Experto artificial
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perecedero</li> <li>- Difícil transferir el conocimiento</li> <li>- Difícil de documentar</li> <li>- Respuestas a veces impredecibles</li> <li>- Caro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permanente</li> <li>- Fácil de transferir (reproducir)</li> <li>- Fácil de documentar</li> <li>- Consistente</li> <li>- Asequible</li> </ul>

**TABLA 2. Desventajas de los "Sistemas Expertos"**

Experto humano	Experto artificial
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Creativo</li> <li>- Adaptable a su entorno y a nuevas situaciones</li> <li>- Experiencia sensorial</li> <li>- Visión amplia</li> <li>- Sentido común</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No inspirado</li> <li>- Necesita ser modificado</li> <li>- Entrada simbólica</li> <li>- Visión estrecha</li> <li>- Conocimiento técnico</li> </ul>

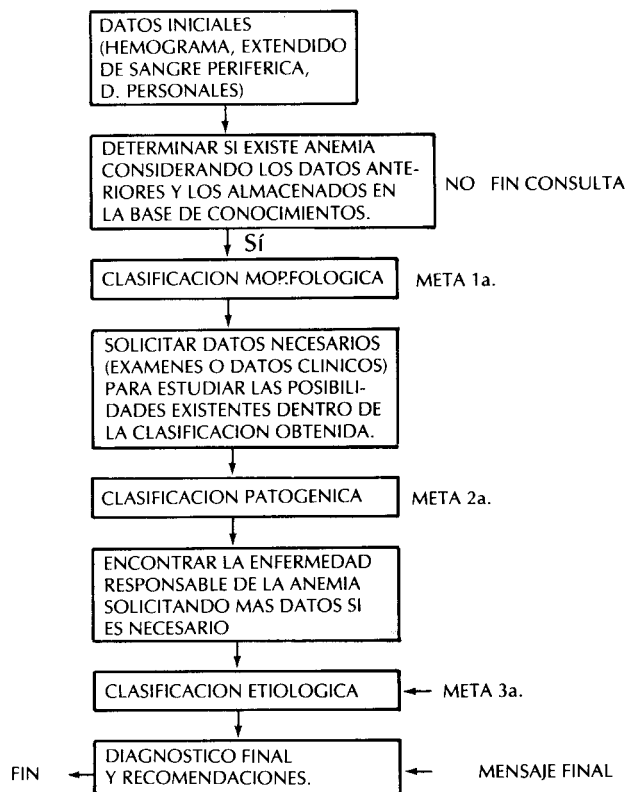


Fig. 1. Esquema general de procedimiento de S.E.A.D.A.

Una vez el sistema sabe cuáles son las metas a buscar usa el método de razonamiento hacia atrás principalmente y, cuando es necesario, el método de razonamiento hacia adelante para lograr el objetivo principal, es decir, la solución del problema.

La herramienta utilizada permite la incorporación de gráficas. Esta capacidad fue utilizada para orientar al médico en el diagnóstico, es decir, se muestran las diferentes células anormales que pueden aparecer en el extendido de sangre periférica, el tamaño de los glóbulos rojos para clasificar la anemia, etc. La capacidad de ampliación permite agregarle más gráficas y criterios diagnósticos y educativos que especialicen el sistema como herramienta para la preparación académica de estudiantes de medicina.

### Resultados

La siguiente es la lista de posibles diagnósticos que cubre el sistema:

- ANEMIA MACROCÍTICA
- Por deficiencia de Vitamina B12 debido a:
  - Ingestión insuficiente
  - Factor intrínseco inadecuado
  - Bacterias o parásitos
  - Mala absorción intestinal
- Por deficiencia de ácido fólico, se sugiere investigar las siguientes posibles causas:
  - Anticonceptivos orales
  - Drogas antagonistas del folato
  - Drogas anticonvulsivas
  - Ingesta de alcohol
  - Preparaciones que contengan aspirina, cafeína, salicilamida
  - Síndromes de mala absorción intestinal
  - Sprue no tropical
  - Sprue tropical
- Anemia megaloblástica refractaria debido a deficiencias enzimáticas

- Anemia aplásica debido a:
  - Exposición a agentes que la causan
  - Secundaria a irradiación
  - Hereditaria (Síndrome de Fanconi)
  - Congénita (Anemia de Blackfan)
  - Idiopática
    - Por mixedema
  - Anemia sideroblástica debido a:
    - Intoxicación con plomo
    - Secundaria a drogas
    - Hereditaria
    - Idiopática refractaria
      - Anemia hemolítica:
      - Con COOMBS negativo:
  - Rasgo drepanocítico
  - Esferocitosis
  - Hemólisis mecánica (A hemolítica microangiopática, hemoglobinuria de la marcha y hemólisis cardíaca)
  - Hemoglobinuria paroxística nocturna
    - Hemoglobinopatías:
      - Talasemia mayor
      - Talasemia menor
      - Rasgo de hemoglobina C
      - Rasgo de hemoglobina C con talasemia menor
      - Rasgo de hemoglobina C con talasemia mayor
      - Enfermedad de hemoglobina C
      - Enfermedad de hemoglobina C con talasemia mayor
      - Enfermedad de hemoglobina C con talasemia menor
      - Enfermedad de hemoglobina SC
      - Talasemia mayor con hemoglobina SC
      - Hemoglobinopatía mixta
  - Anemia hemolítica asociada a deficiencia de la enzima G-6-PD en los eritrocitos
  - Anemia hemolítica debido a deficiencia de enzimas intraeritrocíticas (PK o HK o GSH-PX o GR o TR)
  - Hemólisis infecciosa por *Mycoplasma pneumoniae*
  - Anemia drepanocítica
    - Con COOMBS positivo:
    - Anemia hemolítica por Lupus
    - Precipitación de hemólisis (por tratamiento para linfoma)
    - Anemia hemolítica inducida por drogas
    - Por incompatibilidad de Rh y por pérdida de sangre
    - Por incompatibilidad de grupos y por pérdida de

- sangre
- Por linfoma
- Por leucemia
- Por las afecciones: mononucleosis infecciosa o linfadenopatía inmunoblástica

#### ANEMIA NORMOCÍTICA

- Anemia hemolítica (como se describió antes)
- Anemia por pérdida de sangre:
  - Por hemorragia reciente
  - Ferropénica
  - Por hemorragias no detectadas
  - Anemia fisiológica del recién nacido
  - Anemia hemolítica del recién nacido
  - Anemia aplásica (con las causas descritas antes)
    - Por leucemias:
      - Granulocítica crónica
      - Mielocítica aguda indiferenciada (M1)
      - Mielomonocítica aguda (M4)
      - Mielocítica aguda diferenciada (M2)
      - Eritroleucemia
      - Promielocítica aguda (M3)
      - Eosinofílica crónica
      - Basofílica crónica
      - Mielomonocítica crónica
      - Linfoblástica por células B,T, Null
      - Linfocítica crónica
      - De células peludas
      - De células plasmáticas
      - De células mastoides
      - Monocítica aguda diferenciada (M5)
      - Monoblástica aguda diferenciada (M5A)
      - Neutrofílica aguda

- Por linfomas: Hodgkin y no Hodgkin

#### - Por mieloma:

- Mieloma múltiple secretor de inmunoglobulina A, D, G ó M.
- Mieloma múltiple secretor de proteína de Bence-Jones, cadena Kapa o Lambda
- Mieloma no secretor
- Desorden adquirido asociado con gamopatías monoclonales
- Por metaplasia mioide agnógena (Mielofibrosis)
- Anemias sideroblásticas

#### ANEMIA MICROCÍTICA

- Anemia ferropénica con las siguientes causas:
  - Pérdida de sangre (tumores sangrantes)
  - Gastrectomía parcial
  - Mala absorción intestinal
  - Aclorhidria

- Desnutrición
- Donante de sangre
- Metrorragia y polimenorrea
- Síntomas de aborto
- Período de lactancia
- Lactante menor
- Embarazo
- Adolescencia
  
- Anemia sideroblástica
- Hemoglobinopatías

### Referencias

1. WATERMAN, D.A. A Guide to Expert Systems, Massachusetts, Addisonwsley, 1986. pp. 3-10.
2. WATERMAN, D.A. A Guide to Expert Systems, Massachusetts, Addisonwsley, 1986. pp. 272-288.
3. WATERMAN, D.A. A Guide to Expert Systems, Massachusetts, Addisonwsley, 1986. pp. 128-132.
4. LEAVELL, B.S., THORUP, O.A. Fundamentals of Clinical Hematology. 4. edición, Philadelphia, Saunders, 1976. pp. 59-60.
5. CUENA, J. y colaboradores. Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos. Madrid, Alianza, 1986.
6. WATERMAN, D.A. A Guide to Expert Systems, Massachusetts, Addisonwsley, 1986. pp. 12-14.

### Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a los doctores Manuel González Herazo, Rafael Savignano, Enrique Fals-Borda, quienes colaboraron en la revisión de temas, asesoría médica y pruebas del material. Además queremos agradecer muy especialmente a Texins de Colombia y a la Gerencia de la Sucursal Barranquilla por haber facilitado la herramienta P.C. Plus Versión 1.1. los microcomputadores y "software" utilizados en la ejecución del proyecto. Finalmente, a la señora Amparo Penagos de Guerrero, por la transcripción mecanográfica del trabajo.