

SADDA

Sistema de Ayuda a la Decisión
para el Diagnóstico de Anemia



Sistemas Basados en el Conocimiento



Francisco Javier Luna Ortiz

Tabla de contenidos

1.	Introducción.....	4
1.1.	Sistemas expertos.....	4
1.2.	Descripción del sistema SADDA	4
1.3.	Alcance	5
1.4.	Límite	5
2.	Método de trabajo	5
3.	Estudio de viabilidad.....	6
3.1.	Plausibilidad	7
3.2.	Justificación.....	8
3.3.	Adecuación.....	9
3.4.	Éxito	10
3.5.	Evaluación	11
4.	Adquisición de conocimiento.....	13
4.1.	Fuentes de conocimiento	13
4.2.	Técnica empleada.....	13
4.3.	Ejemplo de entrevista	14
5.	Conceptualización	15
5.1.	Vocabulario controlado	15
5.2.	Redes semánticas.....	19
5.2.1.	Red semántica – Clasificación morfológica de las anemias.....	19
5.2.2.	Red semántica – Sustancias	20
5.3.	Ontología de anemias.....	20
5.4.	Mapas de conocimiento	21
5.4.1.	Determinar si hay anemia y el tipo	21
5.4.2.	Anemia microcítica.....	22
5.4.3.	Anemia normocítica	23
5.4.4.	Anemia macrocítica.....	24
5.5.	Otros	25
6.	Representación del conocimiento.....	26
6.1.	Reglas.....	26
6.2.	Ejemplo de inferencia.....	29
6.2.1.	Modus Ponens.....	29
6.2.2.	Ejemplo.....	29
7.	Programa	30

7.1.	Código fuente	30
8.	Caso práctico.....	47
9.	Lógica borrosa.....	48
9.1.	¿Qué es la lógica borrosa?.....	48
9.2.	Fuzziness.....	48
9.2.1.	Primer ejemplo de lógica borrosa en FuzzyCLIPS	49
9.3.	Ejemplo de lógica borrosa aplicada a SADDA	50
9.3.1.	Hemoglobina baja	51
9.3.2.	Hemoglobina normal	52
9.3.3.	Hemoglobina alta	53
9.3.4.	Programa	54
10.	Experto	54
11.	Conclusiones.....	54
12.	Bibliografía	54

1. Introducción

1.1. Sistemas expertos

Un sistema experto es un programa diseñado para imitar el razonamiento y la toma de decisiones de un experto humano en un campo particular de conocimiento, ayudando a resolver problemas dentro de ese dominio específico. Un ejemplo común es el comportamiento de un médico durante la evaluación y tratamiento de un paciente.

Un sistema experto se compone de cuatro componentes fundamentales:

- ❖ **Base de hechos:** el usuario ingresa información sobre el problema a tratar y el sistema la analiza para deducir nuevos hechos.
- ❖ **Base de conocimientos:** conocimiento explícito e implícito sobre un dominio específico representado mediante reglas.
- ❖ **Motor de inferencias:** consiste en el proceso de razonamiento.
- ❖ **Interfaz de usuario:** medio a través del cual los usuarios interactúan con el sistema para ingresar información, recibir resultados y realizar consultas.

1.2. Descripción del sistema SADDA

Desde su aparición, los sistemas expertos han encontrado aplicaciones en diversos campos, la medicina es uno de ellos. Han revolucionado la forma en la que los profesionales de la salud gestionan datos, realizan diagnósticos y brindan atención médica. Sistemas como *MYCIN*¹, *PUFF*² y *CADUCEUS*³, han desempeñado un papel fundamental al proporcionar diagnósticos precisos y recomendaciones de tratamiento basadas en el conocimiento médico experto.

SADDA nace con el propósito de facilitar a los profesionales sanitarios el diagnóstico de anemia. La anemia es un trastorno común que afecta a millones de personas en todo el mundo y puede tener graves implicaciones para la salud si no se diagnostica y trata adecuadamente.

Este proyecto es concebido como el trabajo final de la asignatura de Sistemas Basados en el Conocimiento. Tiene como objetivo principal proporcionar a los profesionales de la salud una herramienta confiable para el diagnóstico de la anemia, optimizando así el proceso de atención médica. Sin embargo, su alcance se extiende más allá de los expertos, ya que se pretende que también sea accesible para estudiantes de medicina, brindándoles una herramienta educativa que complemente su formación académica y les ayude en su preparación para enfrentar casos clínicos relacionados con la anemia.

¹ MYCIN: sistema experto encargado de identificar enfermedades infecciosas de la sangre, desarrollado por Edward Shortliffe en la Universidad de Stanford.

² PUFF: sistema experto capaz de diagnosticar enfermedades pulmonares, desarrollado en la Universidad de Stanford.

³ CADUCEUS: sistema experto encargado de realizar diagnósticos en medicina interna, originario de la Universidad de Pittsburgh.

1.3. Alcance

SADDA se ha diseñado con el propósito de ofrecer un diagnóstico preciso de anemia en pacientes. El sistema reconoce los grupos de anemia siguiendo su clasificación morfológica y sus tipos.

- ❖ Anemia microcítica.
- ❖ Anemia macrocítica.
- ❖ Anemia normocítica.

1.4. Límite

El límite de SADDA se centra exclusivamente en el diagnóstico de anemia, sin proporcionar procedimientos o recomendaciones específicas para el tratamiento o la cura de esta afección. Se concentra en el proceso de diagnóstico, ofreciendo información sobre la condición del paciente que puede ser utilizada por los profesionales de la salud para el posterior tratamiento de la anemia.

2. Método de trabajo

Durante el desarrollo del sistema experto, se siguió un método de trabajo que abarcó diversas etapas clave. Estas etapas incluyeron el estudio de viabilidad, la adquisición de conocimiento, la conceptualización, la representación del conocimiento, la implementación y las pruebas.

Es importante destacar que este proceso no siguió un enfoque de desarrollo en cascada rígido. En lugar de ello, se optó por un enfoque más flexible. Por ejemplo, si se identificaba un error en la conceptualización, se retrocedía en el proceso, se validaba con el experto y se realizaban los cambios necesarios para asegurar la calidad del sistema. Esta metodología permite adaptarse y mejorar continuamente a lo largo del desarrollo.

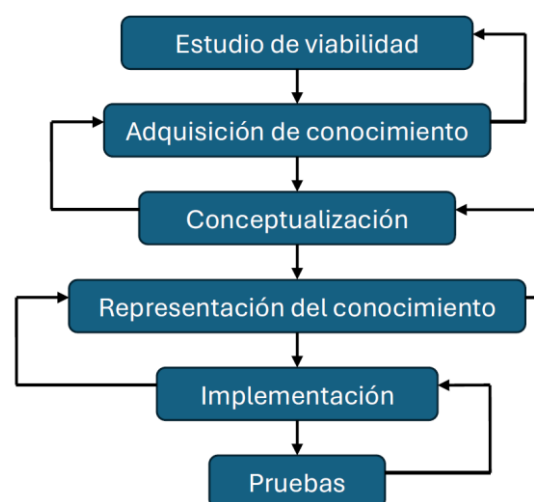


Figura 1: Diagrama sobre el método de trabajo.

3. Estudio de viabilidad

Una vez descrito el sistema, y definido su alcance y su límite, se debe plantear la siguiente pregunta: ¿Se puede resolver el problema con un sistema experto?

Para responder a esta pregunta es necesario un estudio de viabilidad, así podremos asegurar que la tarea que se va a emprender es factible. Existen diversos enfoques para evaluar la viabilidad de un proyecto. En este caso, se empleará la prueba de Slagel.

En esta prueba se considerarán 4 dimensiones del proyecto:

- ❖ Plausibilidad.
- ❖ Justificación.
- ❖ Adecuación.
- ❖ Éxito.

De cada dimensión se estudiarán distintas características, pudiendo ser esenciales⁴ o deseables⁵. Las características se clasifican en categorías según su enfoque, pudiendo tratarse de características sobre los expertos, la propia tarea y los directivos y/o usuarios.

Leyenda:

CAT: Categoría.

EX: Expertos.

TA: Tarea.

DU: Directivos y/o usuarios.

Identificador de la característica.

Pi: Característica de la dimensión de Plausibilidad.

Ji: Característica de la dimensión de Justificación.

Ai: Característica de la dimensión de Adecuación.

Ei: Característica de la dimensión de Éxito.

Tipo.

E: Esencial.

D: Deseable.

⁴ Una característica esencial es un aspecto fundamental del sistema y debe tener al menos una calificación de 7 para considerarse satisfactoria.

⁵ Una característica deseable es un aspecto del sistema que es importante, pero no está sujeta a una calificación mínima. Se tiene en cuenta ya que se trata de características recomendables.

3.1. Plausibilidad

Regla de la plausibilidad:

“Si existen verdaderos y genuinos expertos, y pueden proporcionar la mayoría de la experiencia necesaria, y son cooperativos, y son capaces de articular sus métodos o procedimientos de trabajo, y se dispone de suficientes casos de prueba, y la tarea no es muy difícil, y está adecuadamente estructurada, y no requiere de sentido común, y solo exige habilidad cognoscitiva (no física), Entonces es posible el desarrollo y construcción de un SE”⁶.

Tabla:

CAT.	IDEN.	PESO (P)	VALOR (V)	DENOMINACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA	TIPO
EX	P1	10	10	Existen expertos.	E
EX	P2	10	10	El experto asignado es genuino.	E
EX	P3	8	10	El experto es cooperativo.	D
EX	P4	7	9	El experto es capaz de articular sus métodos pero no categoriza.	D
TA	P5	10	9	Existen suficientes casos de prueba; normales, típicos, ejemplares, correosos, etc.	E
TA	P6	10	9	La tarea está bien estructurada y se entiende.	D
TA	P7	10	10	Sólo requiere habilidad cognoscitiva (no pericia física).	D
TA	P8	9	8	No se precisan resultados óptimos sino sólo satisfactorios, sin comprometer el proyecto.	D
TA	P9	9	10	La tarea no requiere sentido común.	D
DU	P10	7	9	Los directivos están verdaderamente comprometidos con el proyecto.	D

P1: El experto seleccionado es médico y lleva ejerciendo desde 2006. Proporcionará la base de conocimiento necesaria para el desarrollo del sistema.

P2: El experto designado es auténtico y honesto.

P3: El experto está dispuesto a cooperar en el desarrollo del sistema.

P4: El experto tiene la habilidad de explicar y comunicar los métodos que utiliza en su trabajo perfectamente, además de clasificarlos.

P5: El experto proporcionará suficientes casos de prueba; normales, típicos y de cada tipo de diagnóstico.

P6: Se comprende perfectamente sus fases y los posibles estados.

P7: Las acciones requeridas para abordar la tarea están principalmente relacionadas con el razonamiento y la toma de decisiones basadas en el conocimiento.

⁶ Metodología y Viabilidad de los Sistemas Expertos. Sistemas Basados en el Conocimiento (pág. 41). Escuela Superior de Informática de UCLM.

P9: La tarea no es complicada, pero no es de sentido común. Tiene cierta dificultad al tener que tratar con un gran conjunto de variables de los análisis de sangre, además de otros aspectos como los posibles síntomas del paciente.

3.2. Justificación

Regla de la justificación:

“Si se necesita experiencia en entornos hostiles, penosos o poco gratificantes; o hay escasez de experiencia humana; o esa experiencia es necesaria simultáneamente en distintos y distantes lugares; o hay pérdida de dicha experiencia; o se espera una alta tasa de recuperación de la inversión; o no existen soluciones alternativas; o el enfoque de la programación convencional no es posible o satisfactorio, Entonces la construcción de un SE está justificada”⁷.

Tabla:

CAT.	IDEN	PESO (P)	VALOR (V)	DENOMINACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA	TIPO
EX	J1	10	8	El experto NO está disponible.	E
EX	J2	10	7	Hay escasez de experiencia humana.	D
TA	J3	8	9	Existe necesidad de experiencia simultánea en muchos lugares.	D
TA	J4	10	10	Necesidad de experiencia en entornos hostiles, penosos y/o poco gratificantes.	E
TA	J5	8	8	No existen soluciones alternativas admisibles.	E
DU	J6	7	8	Se espera una alta tasa de recuperación de la inversión.	D
DU	J7	8	10	Resuelve una tarea útil y necesaria.	E

J1: Aunque el experto está disponible, su profesión es intrínsecamente compleja y exigente.

J3: Todos los hospitales requieren de los mejores sistemas y avances tecnológicos. Un sistema de ayuda a la decisión para el diagnóstico de anemia puede ser una adquisición muy interesante para los hospitales.

J4: Diagnosticar anemia es una experiencia para nada gratificante. La correcta toma de decisiones puede suponer en estos casos salvar vidas humanas.

J7: La anemia es un trastorno común que afecta a millones de personas en todo el mundo y puede tener graves implicaciones para la salud si no se diagnostica y trata adecuadamente.

⁷ Metodología y Viabilidad de los Sistemas Expertos. Sistemas Basados en el Conocimiento (pág. 44). Escuela Superior de Informática de UCLM.

3.3. Adecuación

Regla de la adecuación:

“Si la naturaleza de la tarea está orientada a metas, es lo más reversible posible, y afecta lo mínimo indispensable a la organización y es tal que, básica y primariamente, requiere manipulación y razonamiento simbólico que implica factores subjetivos y soluciones heurísticas; y la complejidad de la tarea no es elemental pero es de conocimiento intensivo propio del dominio; y por su alcance es, o puede reducirse a un tamaño manejable; y tiene un valor práctico; y no necesita investigación básica para encontrar soluciones; y la transferencia de experiencia entre humanos es factible; y el SE sirve a necesidades a largo plazo; y la experiencia está pobremente organizada; y no requiere respuestas en tiempo real inmediato; entonces la construcción del Sistema Experto se considera apropiada”⁸.

Tabla:

CAT.	IDEN	PESO (P)	VALOR (V)	DENOMINACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA	TIPO
EX	A1	5	5	La experiencia del experto está poco organizada.	D
TA	A2	6	10	Tiene valor práctico.	D
TA	A3	7	10	Es una tarea más táctica que estratégica.	D
TA	A4	7	10	La tarea da soluciones que sirvan a necesidades a largo plazo.	E
TA	A5	5	9	La tarea no es demasiado fácil, pero es de conocimiento intensivo, tanto propio del dominio, como de manipulación de la información.	D
TA	A6	6	9	Es de tamaño manejable, y/o es posible un enfoque gradual y/o, una descomposición en subtareas independientes.	D
EX	A7	7	10	La transferencia de experiencia entre humanos es factible (experto a aprendiz).	E
TA	A8	6	9	Estaba identificada como un problema en el área y los efectos de la introducción de un SE pueden planificarse.	D
TA	A9	9	8	No requiere respuestas en tiempo real "inmediato".	E
TA	A10	9	10	La tarea no requiere investigación básica.	E
TA	A11	5	5	El experto usa básicamente razonamiento simbólico que implica factores subjetivos.	D
TA	A12	5	7	Es esencialmente de tipo heurístico.	D

A1: El conocimiento sobre anemias está organizado y bien identificado. Los procedimientos son similares en los distintos centros.

A2: El sistema tiene una aplicación real, se puede usar en los hospitales para el diagnóstico de anemia.

A3: La tarea está relacionada con la toma de decisiones para abordar situaciones prácticas y concretas.

⁸ Metodología y Viabilidad de los Sistemas Expertos. Sistemas Basados en el Conocimiento (pág. 46). Escuela Superior de Informática de UCLM.

A4: Los resultados obtenidos tienen un impacto positivo y duradero en el tiempo. En el caso de diagnosticar anemia logramos identificar un problema grave de salud de un paciente para su posterior tratamiento.

A5: La tarea requiere saber interpretar los valores de un análisis de sangre y tener un conocimiento profundo sobre anemias.

A9: Detectar anemia es una decisión que tiene bastante urgencia, ya que la salud y el bienestar de una persona están en juego. Pero se dispone de tiempo para la toma de decisiones, no tiene que ser algo inmediato.

A11: El experto para realizar esta tarea se basa en los valores de los análisis de sangre, además de los posibles síntomas del paciente (no es totalmente subjetivo, es más bien objetivo).

A12: Se usarán las heurísticas obtenidas por parte del experto (a partir de su experiencia acumulada).

3.4. Éxito

Regla del éxito:

“Si los directivos están mentalizados de la importancia y eficiencia de la tecnología, y, por lo tanto, tienen expectativas realistas; y apoyan decididamente el proyecto; y hay cambios mínimos en los procedimientos habituales y estándar; y los usuarios finales aceptan de buen grado, o por lo menos no rechazan “a priori” la introducción de un Sistema Experto; y los resultados no están muy influenciados por los cambios y vaivenes políticos; y el dominio es lo suficientemente estable; y las metas del proyecto global están adecuadamente integradas; y se efectúa una adecuada transferencia de tecnología y la tarea es de I+D o de carácter práctico; y se consigue una interfaz amistosa y explicativa; y los expertos concuerdan en sus soluciones ... Entonces el éxito del proyecto está garantizado”⁹.

Tabla:

CAT.	IDEN	PESO (P)	VALOR (V)	DENOMINACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA	TIPO
EX	E1	8	10	No se sienten amenazados por el proyecto, son capaces de sentirse intelectualmente unidos al proyecto.	D
EX	E2	6	10	Tienen un brillante historial en la realización de esta tarea.	D
EX	E3	5	8	Hay acuerdos en lo que constituye una buena solución a la tarea.	D
EX	E4	5	10	La única justificación para dar un paso en la solución es la calidad de la solución final.	D
EX	E5	6	10	No hay un plazo de finalización estricto, ni ningún otro proyecto depende de esta tarea.	D
TA	E6	7	10	No está influenciada por vaivenes políticos.	E

⁹ Metodología y Viabilidad de los Sistemas Expertos. Sistemas Basados en el Conocimiento (pág. 47). Escuela Superior de Informática de UCLM.

TA	E7	8	8	Existen ya SS.EE. que resuelvan esa o parecidas tareas.	D
TA	E8	8	9	Hay cambios mínimos en los procedimientos habituales.	D
TA	E9	5	9	Las soluciones son explicables o interactivas.	D
TA	E10	7	8	La tarea es de I+D de carácter práctico, pero no ambas cosas simultáneamente.	E
DU	E11	6	8	Están mentalizados y tienen expectativas realistas tanto en el alcance como en las limitaciones.	D
DU	E12	7	9	No rechazan de plano esta tecnología.	E
DU	E13	6	9	El sistema interactúa inteligente y amistosamente con el usuario.	D
DU	E14	9	8	El sistema es capaz de explicar al usuario su razonamiento.	D
DU	E15	8	7	La inserción del sistema se efectúa sin traumas; es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana de la empresa.	D
DU	E16	6	9	Están comprometidos durante toda la duración del proyecto, incluso después de su implantación.	D
DU	E17	8	8	Se efectúa una adecuada transferencia tecnológica.	E

E1: El experto que colabora se ha sentido en todo momento unido con el proyecto. No siente que su trabajo peligra ni se ha sentido amenazado.

E2: El experto lleva ejerciendo desde 2006. Proporcionará una base sólida de conocimiento para el desarrollo del sistema. A lo largo los años ha diagnosticado todo tipo de anemias.

E4: La única justificación para dar por concluido el proyecto es la entrega de un sistema de ayuda al diagnóstico de anemia donde la calidad sea el rasgo más importante.

E11: Se ha definido correctamente el dominio y el límite del sistema.

E12: Los usuarios no rechazan la tecnología, lo ven como un sistema de ayuda.

E13: El sistema presenta una interfaz agradable e inteligente para el usuario.

3.5. Evaluación

Una vez asignados los valores a las características de cada una de las dimensiones del proyecto (de 0 (ausente) a 10 (totalmente presente)), se debe realizar la evaluación para determinar si la aplicación es aceptada o queda rechazada. Si el valor de una característica esencial no alcanza un valor de 7 como mínimo, la aplicación queda rechazada.

En cada dimensión se debe calcular la pseudo media geométrica. Se seguirán las siguientes fórmulas:

$$VC1 = \prod_{i=1,2,5} (V_{pi} // V_{ui}) \left[\left(\prod_{i=1}^{10} P_{pi} * V_{pi} \right) \right]^{\frac{1}{10}}$$

$$VC2 = \prod_{i=1,4,5,7} (V_{ji} // V_{ui}) \left[\left(\prod_{i=1}^7 P_{ji} * V_{ji} \right) \right]^{\frac{1}{7}}$$

$$VC3 = \prod_{i=4,7,9,10} (V_{ai} // V_{ui}) \left[\left(\prod_{i=1}^{12} P_{ai} * V_{ai} \right) \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$VC4 = \prod_{i=6,10,12,17} (V_{ei} // V_{ui}) \left[\left(\prod_{i=1}^{17} P_{ei} * V_{ei} \right) \right]^{\frac{1}{17}}$$

Figura 2: Fórmulas evaluación de la aplicación candidata.¹⁰

$$VC1 = 83,595.$$

$$VC2 = 73,475.$$

$$VC3 = 51,909.$$

$$VC4 = 58,388.$$

Para obtener el valor total del proyecto se deberá hacer la media de los 4 valores, siempre que ninguno de los 4 valores calculados con anterioridad sea 0.

$$VC = \begin{cases} \sum_{i=1}^4 VC_i / 4; & \text{si } \prod_{i=1}^4 VC_i \neq 0 \\ 0; & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Figura 3: Fórmulas evaluación de la aplicación candidata.¹¹

En el caso de tener alguna dimensión con valor 0, el proyecto no sería viable realizarlo.

Por lo tanto,

$$VC = (83,595 + 73,475 + 51,909 + 58,388) = 66,842$$

Por lo tanto, el test de Slagel ha confirmado la viabilidad del proyecto SADDA.

¹⁰ Metodología y Viabilidad de los Sistemas Expertos. Sistemas Basados en el Conocimiento (pág. 54). Escuela Superior de Informática de UCLM.

¹¹ Metodología y Viabilidad de los Sistemas Expertos. Sistemas Basados en el Conocimiento (pág. 55). Escuela Superior de Informática de UCLM.

4. Adquisición de conocimiento

La adquisición de conocimiento es una fase crucial en el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento como SADDA. Consiste en educir y/o deducir conocimiento desde fuentes externas, un proceso difícil que requiere intensa interacción entre expertos del dominio e ingenieros del conocimiento. Esta etapa suele ser el principal cuello de botella debido a su complejidad. La adquisición de conocimiento no debe ser vista como una etapa independiente, sino como un proceso que avanza en paralelo con el desarrollo del sistema.

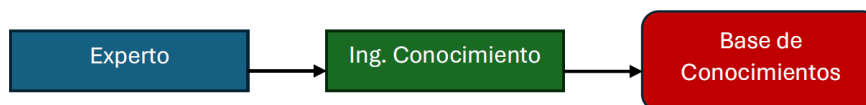


Figura 4: Diagrama sobre el proceso de adquisición de conocimiento.

4.1. Fuentes de conocimiento

Para la adquisición de conocimiento se han tenido en cuenta distintas fuentes de conocimiento:

❖ **Educción:**

- Experto.

❖ **Deducción:**

- Libro recomendado por el experto. Posee conocimientos básicos sobre el dominio del problema. Jiménez, J. M. M. (2017). Pregrado de hematología (4.a ed.).
- El experto ha proporcionado datos reales sobre los valores normales de los parámetros relevantes, obtenidos directamente del laboratorio de su hospital, además de informes médicos sobre casos reales de anemia.

4.2. Técnica empleada

La adquisición de conocimiento del experto se ha llevado a cabo mediante entrevistas, siendo este el método más comúnmente utilizado en este proceso. Las entrevistas permiten una interacción directa entre el experto en el dominio específico y los ingenieros del conocimiento. Durante estas sesiones, los expertos comparten su experiencia, conocimientos y criterios sobre el tema en cuestión, permitiendo que los desarrolladores capturen y comprendan mejor el conocimiento relevante para la creación del sistema.

Existen varios tipos de entrevistas. Las entrevistas estructuradas siguen un conjunto predeterminado de preguntas y un formato específico. Por otro lado, las entrevistas no estructuradas son más flexibles, permitiendo que la conversación fluya libremente y se adapte a medida que se desarrolla.

Para el desarrollo del sistema SADDA se ha optado por un enfoque semiestructurado. Estas entrevistas se preparan con un conjunto inicial de preguntas y temas a cubrir, pero se mantienen flexibles para desviarse del guion si surgen dudas o temas relevantes inesperados. Este enfoque busca maximizar el beneficio de cada entrevista.

4.3. Ejemplo de entrevista

Fecha: 07/04/2024
Hora: 18:00
Lugar: Entrevista online
Soporte: Microsoft Teams (audio grabado para su posterior análisis)
Asistentes: <ul style="list-style-type: none"> - Alumno: Francisco Javier Luna Ortiz - Experto: Félix Canal Calderón
Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de conocimiento de las anemias microcíticas.
Tipo de entrevista: semiestructurada. Se han organizado las preguntas previamente, pero se han formulado también preguntas no planificadas motivadas por dudas surgidas a las contestaciones del experto.
Resultado de la sesión: Satisfactorio.
Plan de análisis: Lectura, comprensión y esquematización del procedimiento.
Tiempo de análisis: 40 minutos.
Desarrollo: <p><u>Entrevistador:</u> ¿Cómo identificamos si un paciente tiene anemia microcítica?</p> <p><u>Experto:</u> Primero de todo, debemos atender a los valores de la hemoglobina y del VCM. Si el paciente tiene una hemoglobina baja y un VCM bajo, tiene anemia microcítica.</p> <p><u>Entrevistador:</u> Entiendo. ¿Cuál sería el siguiente paso?</p> <p><u>Experto:</u> Ahora hay que considerar distintos parámetros. El primero es el hierro. Si el hierro está bajo, tendremos lo más probable una anemia ferropénica, esta es la anemia más habitual. La anemia ferropénica se caracteriza también por tener una ferritina baja. Otro parámetro para tener en cuenta es la CTFH. La CTFH es la capacidad total de fijación del hierro, lo que hace es medir la capacidad que tienen todas las proteínas del organismo de transportar el hierro.</p> <p>La clave para el diagnóstico de anemia ferropénica es que el paciente va a tener la ferritina muy baja (inferior a 15) y la CTFH alta.</p> <p>También el paciente puede tener anemia de enfermedades crónicas, teniendo la ferritina baja y la CTFH normal o baja.</p> <p>Es importante estudiar también la posibilidad de coexistencia de ambas anemias.</p> <p>Si quieres completar el algoritmo, puedes añadir la posibilidad de transfusión de sangre si la hemoglobina es inferior a 8 en el caso de anemia de enfermedades crónicas.</p> <p><u>Entrevistador:</u> ¿Qué pasaría si el paciente tiene el hierro alto?</p> <p><u>Experto:</u> Si nos vamos al otro brazo del algoritmo, el hierro va a estar normal o alto. Va a tener una CTFH normal o elevada y el diagnóstico nos lo va a dar la ferritina. Es la única, si te fijas con respecto al otro brazo del algoritmo, donde sale elevada.</p> <p>La ferritina elevada nos obliga a pedir los reticulocitos. Si los “retis” salen bajos tendremos que pedir un mielograma con hierro medular por sospecha de anemia sideroblástica. Son pruebas muy difíciles. Si los “retis” están normales o elevados sospechamos de talasemia.</p> <p><u>Entrevistador:</u> Hay una duda que me ha surgido, ¿qué es la ferritina?</p>

Experto: La ferritina es la proteína de depósito que tiene el cuerpo para guardar el hierro que sobra.

Entrevistador: ¿Qué pasaría si tenemos el VCM alto o normal?

Experto: Eso ya se saldría de las anemias microcíticas. Un VCM bajo implica que el paciente sufre de anemia microcítica, pero con un VCM alto o normal es todo lo contrario. Tiene anemia, pero de otros tipos.

Entrevistador: Estaríamos hablando de las anemias normocíticas y macrocíticas ¿no?

Experto: Efectivamente. En el caso de un VCM alto hablaríamos de una anemia macrocítica y si el VCM es normal de una anemia normocítica.

Comentarios: Los datos normales de cada uno de los parámetros serán compartidos por parte del experto por correo.

5. Conceptualización

Después de la etapa de adquisición de conocimiento, es crucial realizar una fase intermedia conocida como conceptualización. Según Buchanan, esta etapa implica hacer explícitos los conceptos claves y las relaciones relevantes del conocimiento adquirido.

La conceptualización permite obtener una descripción detallada del problema a resolver, generando modelos conceptuales que especifican cómo debe responder el sistema. Estos modelos conceptuales proporcionan una guía sobre qué conocimientos maneja el experto, cómo los utiliza, dónde los emplea y cuándo los usa. Además, estos modelos conceptuales se traducen en modelos formales que determinan la forma en que el sistema debe ser construido y cómo debe operar.

5.1. Vocabulario controlado

Para comprender adecuadamente el proceso, es fundamental familiarizarse con algunos términos clave. A continuación, se muestra una lista con los términos más importantes y su definición.

❖ **Anemia.**

“La anemia es el descenso de la masa eritrocitaria de un individuo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) la define como una condición en la que el número de glóbulos rojos o su capacidad de transportar oxígeno es insuficiente para cubrir las necesidades fisiológicas, que varían con la edad, el sexo, la altitud y otras circunstancias como el consumo de tabaco o el embarazo.”¹²

¹² Jiménez, J. M. M. (2017). Pregrado de hematología (4.a ed.).

❖ **Anemia microcítica.**

La anemia microcítica es un tipo de anemia caracterizada por glóbulos rojos más pequeños de lo normal debido a la deficiencia de hierro.

❖ **Anemia normocítica.**

La anemia normocítica es un tipo de anemia en la que los glóbulos rojos tienen un tamaño normal pero la cantidad total de glóbulos rojos en la sangre es insuficiente.

❖ **Anemia macrocítica.**

La anemia macrocítica es un tipo de anemia en la que los glóbulos rojos tienen un tamaño más grande de lo normal.

❖ **Anemia sideroblástica.**

La anemia sideroblástica es un trastorno en el cual la médula ósea produce glóbulos rojos con una cantidad excesiva de hierro, lo que interfiere con su capacidad para transportar oxígeno de manera eficiente.

❖ **Talasemia.**

La talasemia es un trastorno sanguíneo hereditario en el que el cuerpo produce una cantidad anormal de hemoglobina, lo que resulta en la destrucción de glóbulos rojos y una anemia crónica.

❖ **Anemia ferropénica.**

La anemia ferropénica es un tipo de anemia que ocurre cuando el cuerpo no tiene suficiente hierro para producir hemoglobina, lo que lleva a una disminución en la cantidad de glóbulos rojos y una reducción en la capacidad de transportar oxígeno en la sangre.

❖ **Anemia de enfermedades crónicas.**

La anemia de enfermedades crónicas es un tipo de anemia que se desarrolla como resultado de trastornos crónicos como la inflamación, infecciones o enfermedades autoinmunes, que pueden interferir con la producción de glóbulos rojos en la médula ósea.

❖ **Anemia hemolítica.**

Un tipo de anemia en la que los glóbulos rojos se destruyen más rápidamente de lo que el cuerpo puede reemplazarlos.

❖ **Anemia hemolítica autoinmune.**

Una forma de anemia hemolítica en la que el sistema inmunológico ataca y destruye los glóbulos rojos, lo que resulta en una disminución en la cantidad de glóbulos rojos en la sangre.

❖ **Anemia hemolítica no autoinmune.**

Una forma de anemia hemolítica en la que los glóbulos rojos se destruyen debido a causas que no están relacionadas con el sistema inmunológico, como infecciones, enfermedades genéticas o exposición a toxinas.

❖ **Anemia posthemorrágica aguda.**

La anemia posthemorrágica aguda es un tipo de anemia que ocurre rápidamente como resultado de una pérdida significativa de sangre debido a una hemorragia aguda, como trauma, cirugía o un sangrado interno repentino.

❖ **Anemia perniciosa.**

Anemia causada por la deficiencia de vitamina B12, generalmente debido a una falta de factor intrínseco, una proteína necesaria para absorber la vitamina B12 en el intestino delgado.

❖ **Malabsorción.**

Condición en la que el intestino delgado no absorbe adecuadamente los nutrientes de los alimentos, lo que puede resultar en deficiencias nutricionales y problemas de salud.

❖ **Vegetarianismo.**

El vegetarianismo es un estilo de vida y una dieta que excluye el consumo de carne animal, ya sea por razones éticas, ambientales, de salud o religiosas.

❖ **Anemia megaloblástica folicopénica.**

Tipo de anemia caracterizada por glóbulos rojos anormalmente grandes (megaloblastos), usualmente debido a una deficiencia de ácido fólico en el cuerpo.

❖ **SMD (síndromes mielodisplásicos).**

Un grupo de trastornos de la médula ósea en los que las células sanguíneas inmaduras no se desarrollan correctamente, lo que conduce a una disminución en la producción de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas.

❖ **Hemoglobina.**

“La hemoglobina o Hb es un componente de los glóbulos rojos de la sangre, también conocidos como eritrocitos, la cual tiene como función principal transportar oxígeno hacia los tejidos.”¹³

¹³ Jiménez, J. M. M. (2017). Pregrado de hematología (4.a ed.).

❖ **Volumen corpuscular medio.**

“Es el tamaño promedio de los glóbulos rojos. Es un dato clave para establecer una primera orientación diagnóstica de la anemia y nos permite clasificar la anemia en función de si el VCM es bajo, normal o elevado. Se mide en femtolitros (fl). El femtolitros es una unidad de medida de volumen igual a 10-15 litros.”¹⁴

❖ **Hierro sérico.**

El hierro sérico se refiere a la cantidad de hierro que se encuentra en el suero sanguíneo, es decir, la parte líquida de la sangre que no contiene células sanguíneas. Esta medición es importante en el diagnóstico de trastornos relacionados con el metabolismo del hierro, como la anemia ferropénica, ya que refleja el nivel de hierro disponible para ser utilizado por el cuerpo en funciones vitales como la producción de glóbulos rojos y el transporte de oxígeno.

❖ **Capacidad total de fijación de hierro.**

La capacidad total de fijación de hierro (CTFH) es una medida de la cantidad total de hierro que puede ser transportada por la transferrina, una proteína que se une al hierro en el torrente sanguíneo y lo transporta a través del cuerpo.

❖ **Ferritina.**

La ferritina es una proteína que almacena hierro en las células, especialmente en el hígado, el bazo y la médula ósea.

❖ **Reticulocitos.**

Los reticulocitos son glóbulos rojos inmaduros que se liberan por la médula ósea a la circulación sanguínea. Son una medida de la actividad de la médula ósea para producir glóbulos rojos nuevos.

❖ **Vitamina B₁₂.**

Es una vitamina soluble en agua que desempeña un papel crucial en varias funciones del cuerpo humano, incluyendo la formación de glóbulos rojos, la función neurológica, la síntesis del ADN y la salud del sistema nervioso.

❖ **Ácido fólico.**

Es una vitamina soluble en agua que desempeña un papel importante en la síntesis de ADN, la división celular y la formación de glóbulos rojos.

¹⁴ Jiménez, J. M. M. (2017). Pregrado de hematología (4.a ed.).

❖ **Lactato deshidrogenasa sérica.**

La lactato deshidrogenasa sérica (LDH) es una enzima presente en varios tejidos del cuerpo, incluyendo el corazón, los músculos, el hígado, los riñones y los glóbulos rojos. Su liberación en el torrente sanguíneo aumenta en respuesta al daño tisular.

❖ **Bilirrubina indirecta.**

La bilirrubina indirecta es una forma de bilirrubina que se produce cuando el hígado descompone la hemoglobina de los glóbulos rojos viejos.

❖ **Haptoglobina.**

La haptoglobina es una proteína producida por el hígado y secretada en la sangre. Su función principal es unirse a la hemoglobina liberada cuando los glóbulos rojos se destruyen, formando complejos haptoglobina-hemoglobina. Estos complejos permiten que la hemoglobina se transporte al hígado para su degradación y reciclaje.

5.2. Redes semánticas

Las redes semánticas consisten en la representación visual del conocimiento mediante nodos que denotan conceptos, individuos o casos, y conexiones que reflejan las interrelaciones entre ellos.

5.2.1. Red semántica – Clasificación morfológica de las anemias

Muestra los tipos de anemia según su clasificación morfológica.

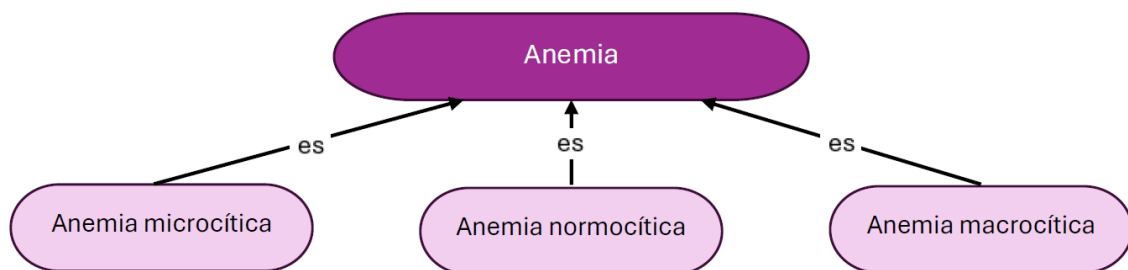


Figura 5: Red semántica – Clasificación morfológica de las anemias.

5.2.2. Red semántica – Sustancias

Muestra las sustancias que se tienen en cuenta para el diagnóstico de anemia.

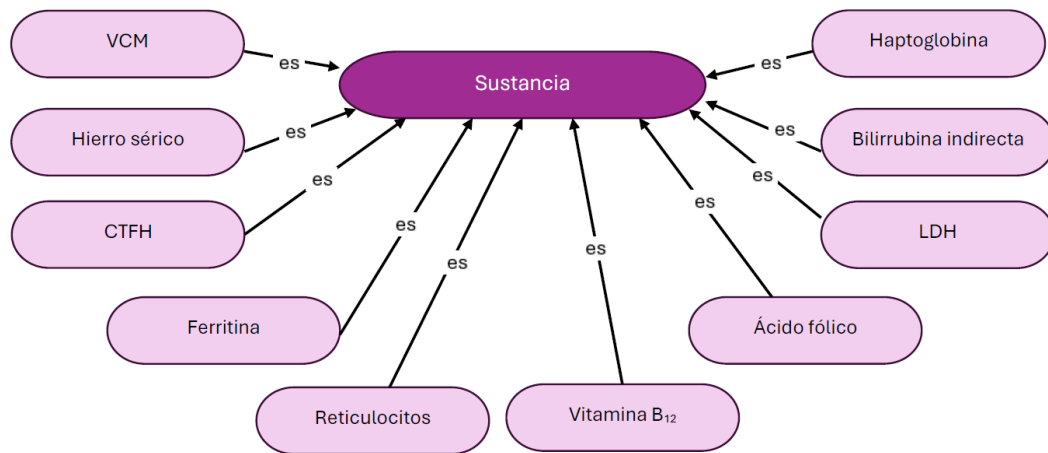


Figura 6: Red semántica – Sustancias.

5.3. Ontología de anemias

Una ontología es una representación formal y explícita de los conceptos, categorías y relaciones dentro de un dominio específico del conocimiento. En términos simples, es una estructura de datos que describe las entidades relevantes en un dominio y las relaciones entre ellas.

En esta ontología se quiere representar las anemias que se pueden diagnosticar y el grupo morfológico al que pertenecen (es parecido a lo que llamamos en programación “relación de herencia”).

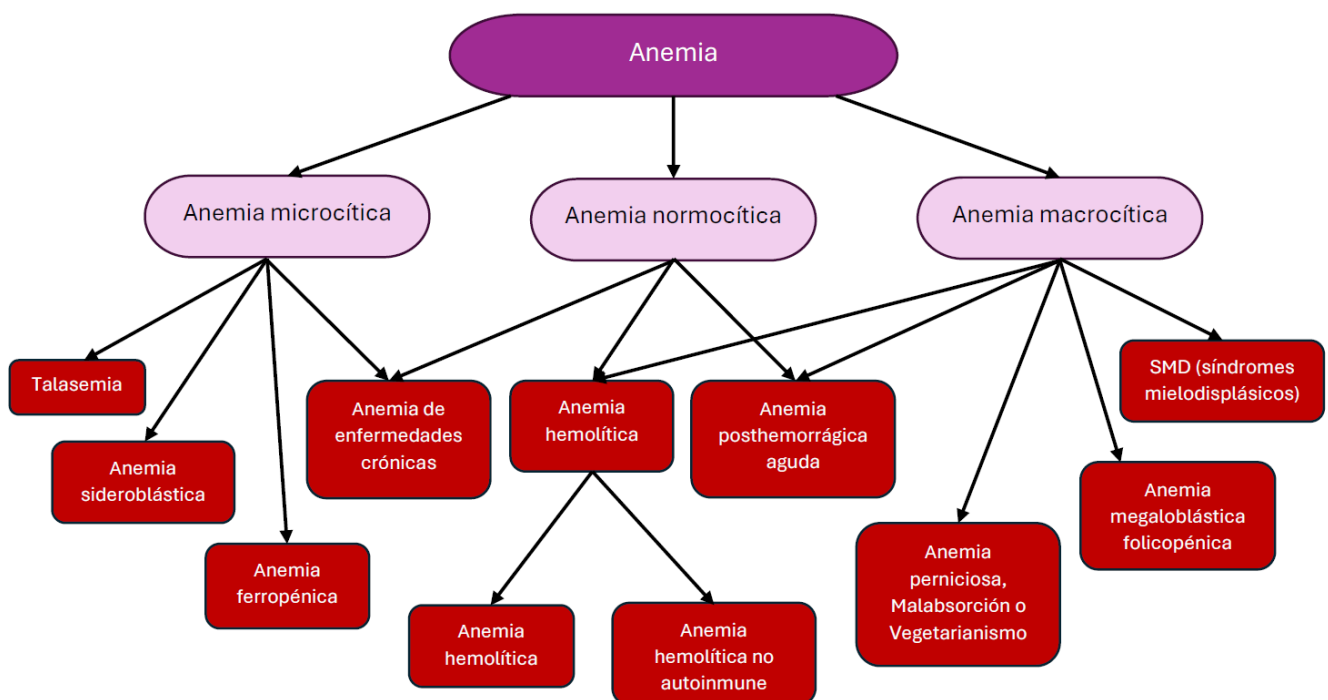


Figura 7: Ontología de anemias.

5.4. Mapas de conocimiento

El uso de mapas de conocimiento ayuda a entender mejor el proceso de diagnóstico de anemia.

5.4.1. Determinar si hay anemia y el tipo

Primero hay que determinar si hay o no anemia. Esto se comprueba con la hemoglobina.

X: valor mínimo de hemoglobina esperado (ver tabla).

Y: valor de la sustancia en el paciente.

Si $Y < X \rightarrow$ SÍ HAY ANEMIA

Si VCM bajo

Anemia microcítica

Si VCM normal

Anemia normocítica

Si VCM alto

Anemia macrocítica

Si $Y \geq X$

Se descarta anemia

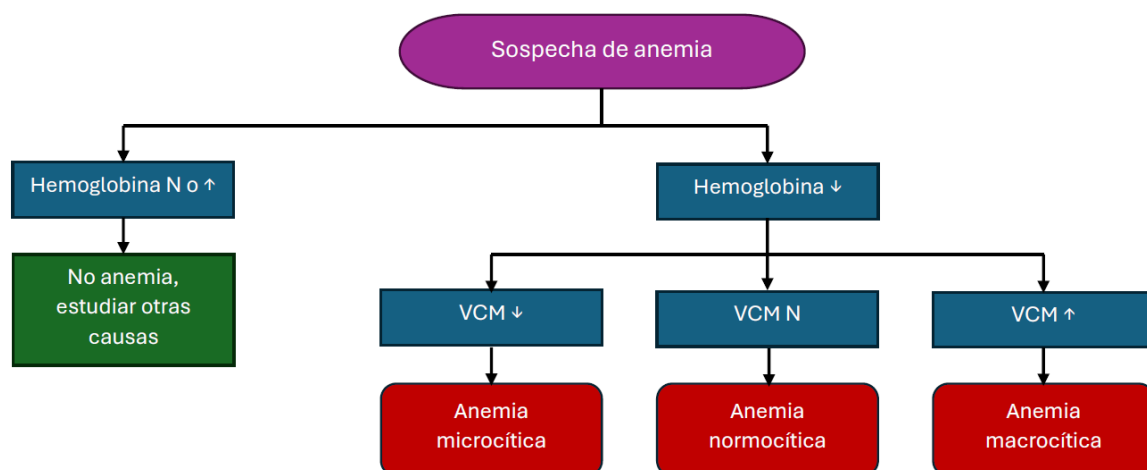


Figura 8: Mapa del conocimiento – Determinar si hay anemia y el tipo.

Cuando se evalúan los niveles de hemoglobina, se determina la presencia de anemia. Si el paciente presenta niveles bajos de hemoglobina, se confirma la presencia de anemia y se procede a analizar los valores del VCM. Dependiendo de estos valores, se siguen distintos pasos para el diagnóstico específico, los cuales están detallados en el mapa de conocimiento correspondiente a cada tipo de anemia.

5.4.2. Anemia microcítica

Mapa de conocimiento para el diagnóstico de anemia microcítica.

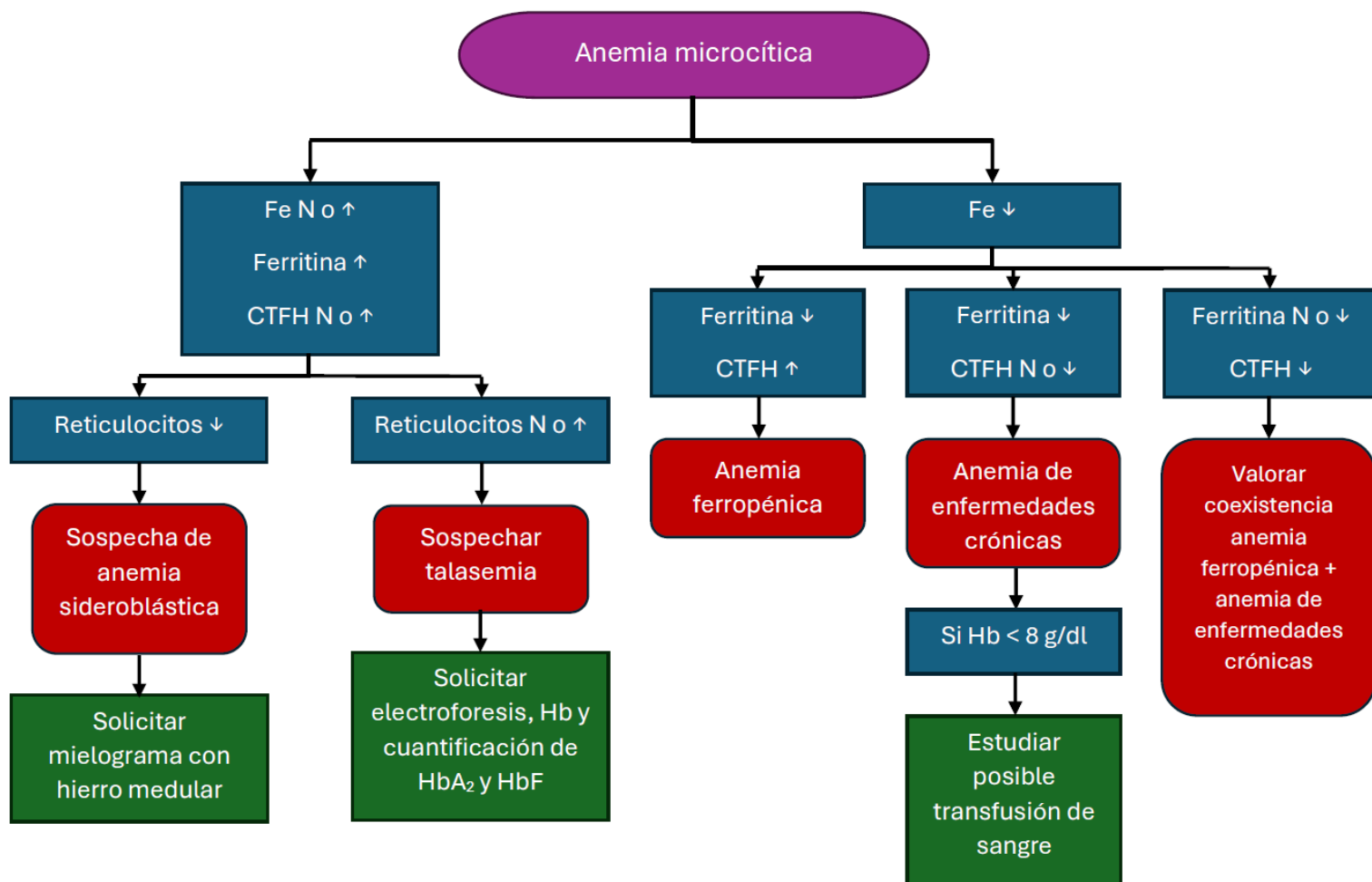


Figura 9: Mapa del conocimiento – Anemia microcítica.

Leyenda:

VALOR	SIGNIFICADO
N	Normal
↓	Bajo
↑	Alto

5.4.3. Anemia normocítica

Mapa de conocimiento para el diagnóstico de anemia normocítica.

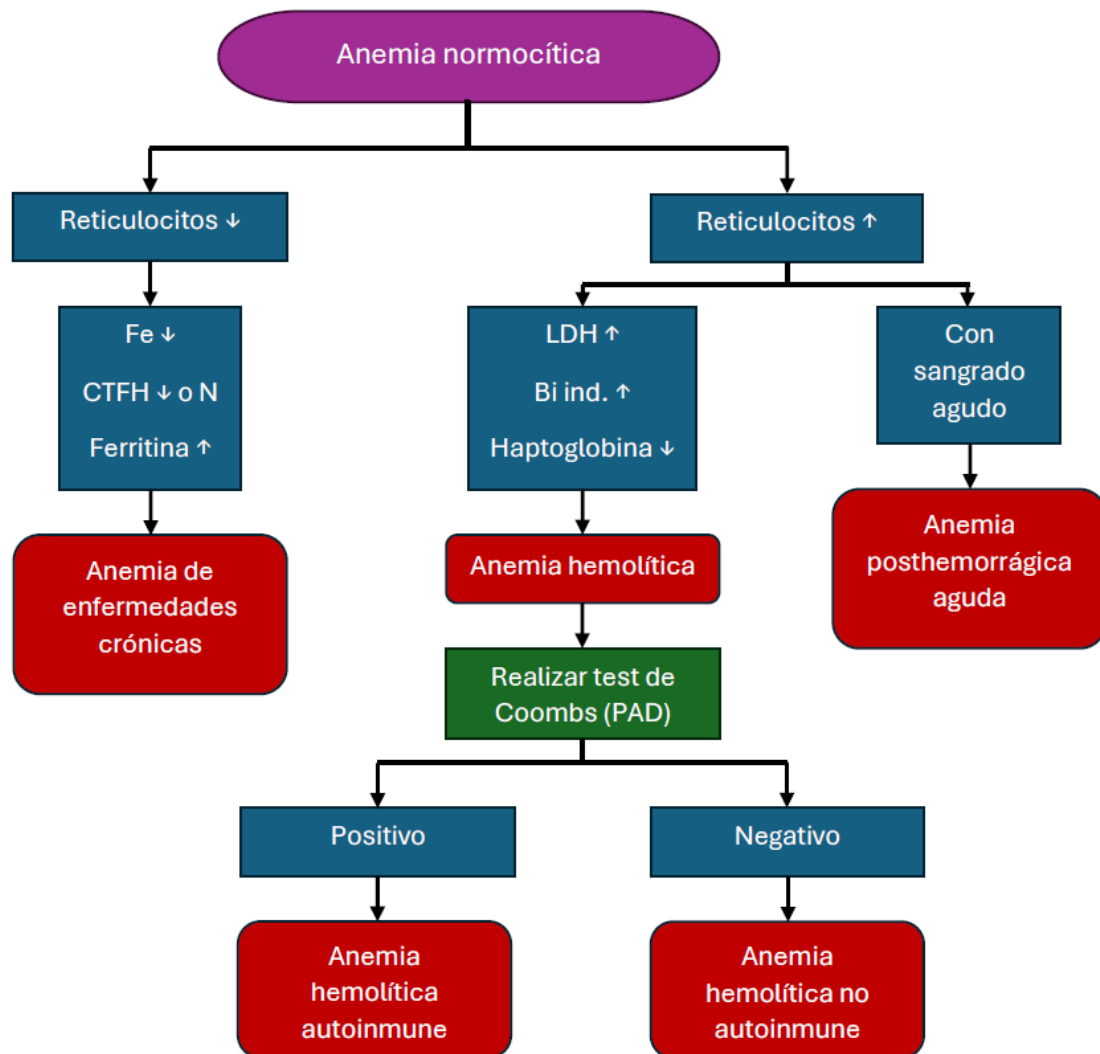


Figura 10: Mapa del conocimiento – Anemia normocítica.

5.4.4. Anemia macrocítica

Mapa de conocimiento para el diagnóstico de anemia macrocítica.

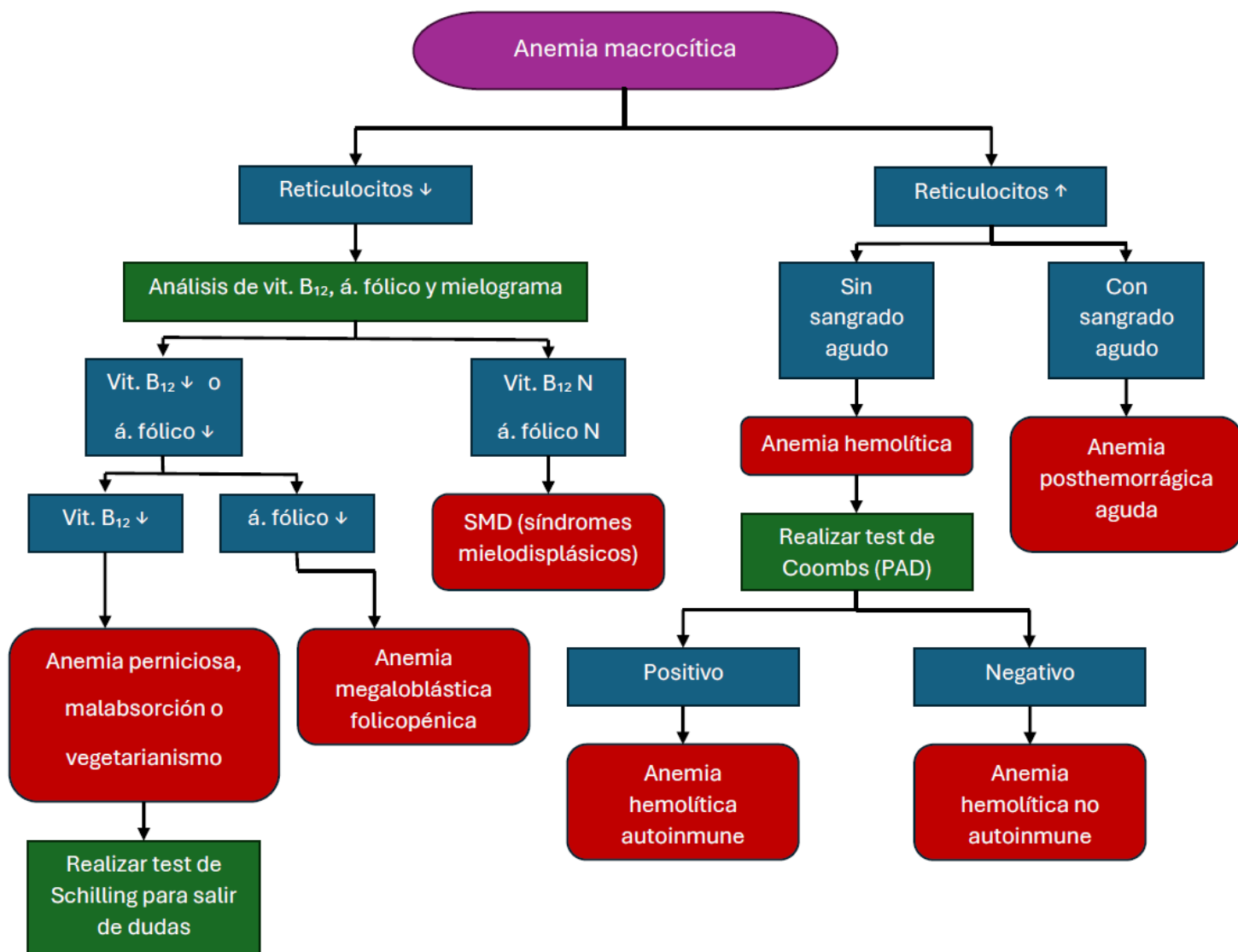


Figura 11: Mapa del conocimiento – Anemia macrocítica.

5.5. Otros

Como se ha señalado en la leyenda, en el proceso de diagnóstico se consideran las concentraciones de diversas sustancias como "altas", "bajas" o "normales" en el paciente. Sin embargo, es fundamental tener un conocimiento preciso de los rangos normales de estas sustancias en la población general para interpretar adecuadamente los resultados. Es esencial contar con una comprensión detallada de estos rangos para evaluar correctamente las posibles anomalías y su impacto en el estado de salud del paciente.

Tabla de valores normales mínimos de hemoglobina.

Edad	Valor mínimo (g/dl)
Niños de 6 meses a 4 años	11
Niños de 5 a 11 años	11,5
Niños de 12 a 14 años	12
Mujeres no embarazadas (15 años o mayor)	12
Mujeres embarazadas	11
Varones (15 años o mayor)	13

Figura 12: Valores normales mínimos de hemoglobina.

Rangos normales del resto de sustancias.

Sustancia	Medida	Rango normal
VCM (volumen corpuscular medio)	fl	(81 - 100)
Fe (hierro sérico)	µg/dl	[65 - 175]
CTFH (capacidad total de fijación de hierro)	mg/dl	[174 - 364]
Ferritina	ng/ml	[30 - 300]
Reticulocitos	10⁹u/l	[50 - 100]
Vitamina B₁₂	pg/ml	[187 - 883]
Ácido fólico	ng/ml	[3.1 - 20.5]
LDH (lactatodeshidrogenasa sérica)	UI/l	[125 - 220]
Bi ind. (bilirrubina indirecta)	mg/dl	[0.2 - 0.9]
Haptoglobina	mg/dl	[14 - 258] para hombres [35- 250] para mujeres

Figura 13: Rangos normales del resto de sustancias.

[] -> límites incluidos en el rango normal.

() -> límites no incluidos en el rango normal.

6. Representación del conocimiento

En la fase de formalización del conocimiento, se da un paso crucial en el desarrollo de sistemas expertos al transformar el conocimiento adquirido en reglas lógicas comprensibles por la máquina. Este apartado explora el proceso mediante el cual el conocimiento experto se codifica en reglas de inferencia del tipo "si-entonces" ($A \rightarrow B$), donde el cumplimiento de ciertos hechos (A) implica una determinada conclusión (B).

6.1. Reglas

Reglas para determinar si el paciente tiene o no anemia:

Regla 1

Si	Hemoglobina baja
Entonces	Sí anemia (SA)

Regla 2

Si	Hemoglobina normal o alta
Entonces	No anemia

Reglas para determinar el tipo de anemia:

Regla 3

Si	SA y VCM bajo
Entonces	Anemia microcítica (A1)

Regla 4

Si	SA y VCM normal
Entonces	Anemia normocítica (A2)

Regla 5

Si	SA y VCM alto
Entonces	Anemia macrocítica (A3)

Reglas para el diagnóstico de anemias microcíticas:**Regla 6**

Si	A1 y Fe normal o alto y Ferritina alta y CTFH normal o alta y Reticulocitos bajos
Entonces	Sospecha de anemia sideroblástica

Regla 7

Si	A1 y Fe normal o alto y Ferritina alta y CTFH normal o alta y Reticulocitos normales o altos
Entonces	Sospechar talasemia

Regla 8

Si	A1 y Fe bajo y Ferritina baja y CTFH alta
Entonces	Anemia ferropénica

Regla 9

Si	A1 y Fe bajo y Ferritina baja y CTFH normal o baja
Entonces	Anemia de enfermedades crónicas

Regla 10

Si	A1 y Fe bajo y Ferritina normal o baja y CTFH baja
Entonces	Valorar coexistencia anemia ferropénica + anemia de enfermedades crónicas

Reglas para el diagnóstico de anemias normocíticas:**Regla 11**

Si	A2 y Reticulocitos bajos y Fe bajo y CTFH baja o normal y Ferritina alta
Entonces	Anemia de enfermedades crónicas

Regla 12

Si	A2 y Reticulocitos altos y LDH alta y Bi ind. alta y Haptoglobina baja
Entonces	Anemia hemolítica (AH)

Regla 13

Si	A2 y Reticulocitos altos y Con sangrado agudo
Entonces	Anemia posthemorrágica aguda

Reglas para el diagnóstico de anemias macrocíticas:**Regla 14**

Si	A3 y Reticulocitos bajos y Vit.B₁₂ baja
Entonces	Anemia perniciosa, malabsorción o vegetarianismo

Regla 15

Si	A3 y Reticulocitos bajos y Á. fólico bajo
Entonces	Anemia megaloblástica folicopénica

Regla 16

Si	A3 y Reticulocitos bajos y Vit.B₁₂ normal y Á. fólico normal
Entonces	SMD (síndromes mielodisplásicos)

Regla 17

Si	A3 y Reticulocitos altos y Sin sangrado agudo
Entonces	Anemia hemolítica (AH)

Regla 18

Si	A3 y Reticulocitos altos y Con sangrado agudo
Entonces	Anemia posthemorrágica aguda

Reglas para determinar el tipo de anemia hemolítica:**Regla 19**

Si	AH y Test de Coombs positivo
Entonces	Anemia hemolítica autoinmune

Regla 20

Si	AH y Test de Coombs negativo
Entonces	Anemia hemolítica no autoinmune

6.2. Ejemplo de inferencia

Para comprender mejor cómo el motor de inferencia del sistema experto SADDA razona para llegar a ciertas conclusiones, es útil analizar un ejemplo práctico de inferencia. Este proceso implica seguir las reglas de inferencia lógica, concretamente el Modus Ponens.

6.2.1. Modus Ponens

El Modus Ponens es un principio básico de la lógica deductiva que establece que, si se cumple una premisa condicional "si A entonces B", y la premisa "A" es verdadera, entonces la conclusión "B" también debe ser verdadera.

$$\begin{array}{l} p \\ p \rightarrow q \\ \hline \therefore q \end{array}$$

p	q	p → q
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

6.2.2. Ejemplo

Según los datos añadidos por el usuario:

- ❖ Hemoglobina baja.
- ❖ VCM bajo.
- ❖ Fe bajo.
- ❖ Ferritina baja.
- ❖ CTFH alta.

¿Qué infiere nuestro sistema?

- 1- Se aplica la Regla 1: Si Hemoglobina baja, entonces Sí anemia (SA).
- 2- Se aplica la Regla 3: Si SA y VCM bajo, entonces Anemia microcítica (A1).
- 3- Se aplica la Regla 8: Si A1 y Fe bajo y Ferritina baja y CTFH alta, entonces Anemia ferropénica.

Conclusión:

- ❖ El sistema infiere que el paciente tiene anemia ferropénica.

7. Programa

A continuación, se mostrará el programa completo desarrollado en CLIPS. CLIPS, una shell diseñada por la NASA en 1986, es una herramienta para construir sistemas expertos. Su nombre, "Sistema de Producción Integrado en Lenguaje C", refleja su compatibilidad con C, C++, y otros lenguajes. Funciona con encadenamiento hacia delante y es adaptable a diversas plataformas.

7.1. Código fuente

```
; ***template para almacenar los datos de cada paciente***

(deftemplate Paciente

  (multifield Nombre)

  (field Edad (type INTEGER))

  (field Sexo)

)

; ***template para almacenar las posibles afecciones***

(deftemplate Afeccion

  (multifield Diagnosticado)

)

; ***Regla para dar la bienvenida al usuario***

(defrule init

=>

  (printout t "<----->" crlf crlf)

  (printout t "SSSS A DDDD DDDD A " crlf)

  (printout t "S  A A D  D D  D A A" crlf)

  (printout t "SSSS AAAAA D  D D  D AAAAA" crlf)

  (printout t "  S A  A D  D D  D A  A" crlf)

  (printout t "SSSS A  A DDDD DDDD A  A" crlf crlf)

  (printout t "  ****  ****  " crlf)

  (printout t "  *****  *****" crlf)

  (printout t "  *****" crlf)

  (printout t "  *****  " crlf)

  (printout t "  *****  " crlf)

  (printout t "  **  " crlf crlf)
```

```

(printout t "<----->" crlf)
(printout t "      Bienvenid@ al sistema SADDA" crlf)
(printout t "<----->" crlf)

; para iniciar la interacción con el usuario
(assert(init))

)

; ***Regla para pedir los datos del paciente***
(defrule PedirDatosPaciente
  (init)
=>

  (printout t "Introduzca su nombre:" crlf)
  (bind ?nombre (readline))
  (printout t "Introduzca su edad:" crlf)
  (bind ?edad (read))
  (printout t "Introduzca su sexo (M/F):" crlf)
  (bind ?sexo (read))

  ; Convertir el valor de edad en un entero
  (bind ?edad-integer (integer ?edad))

  ; Se añade el nuevo paciente a la base de hechos
  (assert (Paciente
            (Nombre ?nombre)
            (Edad ?edad-integer)
            (Sexo ?sexo)
          )
  )

  ; El primer paso sería pedir los niveles de hemoglobina al paciente
  (assert(Pedir hemoglobina))

)

```

```

; *****
;
;                                     Reglas para pedir datos
; ***Pedir hemoglobina***
(defrule PedirHemoglobina
    (Pedir hemoglobina)
=>
    (printout t "Hemoglobina (alta/normal/baja):" crlf)
    (bind ?hemoglobina (read))

    ; Se añade el hecho sobre la hemoglobina
    (assert
        (Hemoglobina ?hemoglobina)
    )
)

; ***Pedir VCM***
(defrule PedirVCM
    (Pedir VCM)
=>
    (printout t "VCM (volumen corpuscular medio) (alto/normal/bajo):" crlf)
    (bind ?VCM (read))

    ; Se añade el hecho sobre el VCM
    (assert
        (VCM ?VCM)
    )
)

; ***Pedir datos anemia microcitica***
(defrule PedirDatosAnemiaMicrocitica
    (Pedir datos anemia microcitica)
=>
    ; Valor del Fe (hierro)

```



```
(printout t "Fe (hierro) (alto/normal/bajo):" crlf)
```

```
(bind ?fe (read))
```

```
; Valor de la Ferritina
```

```
(printout t "Ferritina (alta/normal/baja):" crlf)
```

```
(bind ?ferritina (read))
```

```
; Valor de la CTFH
```

```
(printout t "CTFH (capacidad total de fijacion de hierro) (alta/normal/baja):" crlf)
```

```
(bind ?ctfh (read))
```

```
; Se añade el hecho sobre el hierro
```

```
(assert(Fe ?fe))
```

```
; Se añade el hecho sobre la ferritina
```

```
(assert(Ferritina ?ferritina))
```

```
; Se añade el hecho sobre la CTFH
```

```
(assert(CTFH ?ctfh))
```

```
; Si el hierro es normal o alto hay que tener en cuenta los Reticulocitos
```

```
(if (or (eq ?fe normal)(eq ?fe alto))
```

```
  then
```

```
    ; Valor de los Reticulocitos
```

```
    (printout t "Reticulocitos (altos/normales/bajos):" crlf)
```

```
    (bind ?retis (read))
```

```
    ; Se añade el hecho sobre los Reticulocitos
```

```
    (assert(Reticulocitos ?retis))
```

```
)
```

```
; Para saber que se está calculando el diagnóstico (en el caso de no eliminarse, es porque no se ha encontrado ningún diagnostico)
```

```
(assert(calcular diagnostico))
```

```
)
```

; ***Pedir datos anemia normocitica***

(defrule PedirDatosAnemiaNormocitica

 (Pedir datos anemia normocitica)

=>

 ; Valor de los Reticulocitos

 (printout t "Reticulocitos (altos/normales/bajos):" crlf)

 (bind ?retis (read))

 ; Se añade el hecho sobre los Reticulocitos

 (assert(Reticulocitos ?retis))

 ; Dependiendo del valor de los Reticulocitos se preguntan unas cosas u otras

 (if (eq ?retis bajos)

 then

 ; Valor del Fe (hierro)

 (printout t "Fe (hierro) (alto/normal/bajo):" crlf)

 (bind ?fe (read))

 ; Valor de la CTFH

 (printout t "CTFH (capacidad total de fijacion de hierro) (alta/normal/baja):" crlf)

 (bind ?ctfh (read))

 ; Valor de la Ferritina

 (printout t "Ferritina (alta/normal/baja):" crlf)

 (bind ?ferritina (read))

 ; Se añade el hecho sobre el hierro

 (assert(Fe ?fe))

 ; Se añade el hecho sobre la ferritina

 (assert(Ferritina ?ferritina))

 ; Se añade el hecho sobre la CTFH

 (assert(CTFH ?ctfh))

; Para saber que se está calculando el diagnóstico (en el caso de no eliminarse, es porque no se ha encontrado ningún diagnostico)

(assert(calcular diagnostico))

)

(if (eq ?retis altos)

then

; Con o sin sangrado agudo

(printout t "¿El paciente sufre sangrado agudo? (si/no):" crlf)

(bind ?sangradoagudo (read))

(if (eq ?sangradoagudo si)

then

; Se añade un hecho para indicar que sí hay sangrado agudo

(assert(Con sangrado agudo))

; Para saber que se está calculando el diagnóstico (en el caso de no eliminarse, es porque no se ha encontrado ningún diagnostico)

(assert(calcular diagnostico))

)

(if (eq ?sangradoagudo no)

then

; Se añade un hecho para indicar que no hay sangrado agudo

(assert(Sin sangrado agudo))

; Valor del LDH (lactatodeshidrogenasa sérica)

(printout t "LDH (lactatodeshidrogenasa serica) (alta/normal/baja):" crlf)

(bind ?ldh (read))

; Valor de la bilirrubina indirecta

(printout t "Bi ind. (bilirrubina indirecta) (alta/normal/baja):" crlf)

(bind ?biind (read))

; Valor de la Haptoglobina

```

(printout t "Haptoglobina (alta/normal/baja):" crlf)
(bind ?haptoglobina (read))

; Se añade el hecho sobre la LDH
(assert(LDH ?ldh))

; Se añade el hecho sobre la bilirrubina indirecta
(assert(Bi ind. ?biind))

; Se añade el hecho sobre la Haptoglobina
(assert(Haptoglobina ?haptoglobina))
)
)
)

; ***Pedir datos anemia macrocitica***
(defrule PedirDatosAnemiaMacrocitica
  (Pedir datos anemia macrocitica)
=>

  ; Valor de los Reticulocitos
  (printout t "Reticulocitos (altos/normales/bajos):" crlf)
  (bind ?retis (read))

  ; Se añade el hecho sobre los Reticulocitos
  (assert(Reticulocitos ?retis))

  ; Dependiendo del valor de los Reticulocitos se preguntan unas cosas u otras
  (if (eq ?retis altos)
    then
      ; Con o sin sangrado agudo
      (printout t "¿El paciente sufre sangrado agudo? (si/no):" crlf)
      (bind ?sangradoagudo (read))

```

```

    (if (eq ?sangradoagudo si)
      then
        ; Se añade un hecho para indicar que sí hay sangrado agudo
        (assert(Con sangrado agudo))

        ; Para saber que se está calculando el diagnóstico (en el caso de no eliminarse, es
        porque no se ha encontrado ningún diagnostico)
        (assert(calcular diagnostico))
      )

    (if (eq ?sangradoagudo no)
      then
        ; Se añade un hecho para indicar que no hay sangrado agudo
        (assert(Sin sangrado agudo))
      )
    )

  (if (eq ?retis bajos)
    then
      ; Valor de la Vitamina B12
      (printout t "Vit. B12 (vitamina B12) (alta/normal/baja):" crlf)
      (bind ?vitb12 (read))

      ; Valor del ácido fólico
      (printout t "A. folico (acido folico) (alto/normal/bajo):" crlf)
      (bind ?folico (read))

      ; Se añade un hecho sobre la vitamina B12
      (assert(Vit.B12 ?vitb12))

      ; Se añade un hecho sobre el ácido fólico
      (assert(A. folico ?folico))

      ; Para saber que se está calculando el diagnóstico (en el caso de no eliminarse, es porque no se
      ha encontrado ningún diagnostico)
      (assert(calcular diagnostico))
    )
  )

```

```
; ***Pedir datos para determinar tipo de anemia hemolítica***
```

```
(defrule PedirDatosAnemiaHemolitica
```

```
  (Anemia hemolitica)
```

```
=>
```

```
  ; Realizar test de Coombs
```

```
  (printout t "Diagnosticado anemia hemolitica. Para determinar el tipo, realizar test de Coombs (PAD)."
```

```
  crlf)
```

```
  (printout t "Resultado del test (pudiendo ser positivo o negativo) (+/-):" crlf)
```

```
  (bind ?testcoombs (read))
```

```
  (if (eq ?testcoombs +)
```

```
    then
```

```
      (assert(Test de Coombs positivo))
```

```
      (assert(Fin diagnostico))
```

```
    )
```

```
  (if (eq ?testcoombs -)
```

```
    then
```

```
      (assert(Test de Coombs negativo))
```

```
      (assert(Fin diagnostico))
```

```
    )
```

```
  ; Para saber que se está calculando el diagnóstico (en el caso de no eliminarse, es porque no se ha encontrado ningún diagnostico)
```

```
  (assert(calcular diagnostico))
```

```
)
```

```
; *****
```

```
;                                     ¿Tiene anemia?
```

```
; ***Sí tiene anemia***
```

```
(defrule R1
```

```
  (Hemoglobina baja)
```

```
=>
```

```
  (assert(Si anemia))
```

```
  (printout t "El paciente si tiene anemia. Se procedera a realizar el diagnostico." crlf)
```

```

; Al tener anemia, se pide el VCM con el objetivo de determinar el tipo de anemia
(assert(Pedir VCM))
)

```

```

; ***No tiene anemia***
(defrule R2
  (Hemoglobina normal|alta)
=>
  (assert(No anemia))
  (printout t "No anemia, estudiar otras causas." crlf)
  (assert(calcular diagnostico))
)

```

```

; *****
;
;                                     Tipo de anemia

```

```

; ***Anemia microcítica***
(defrule R3
  (Si anemia)
  (VCM bajo)
=>
  (assert(Anemia microcitica))
  (printout t "Sospecha de anemia microcitica." crlf)
  (assert(Pedir datos anemia microcitica))
)

```

```

; ***Anemia normocítica***
(defrule R4
  (Si anemia)
  (VCM normal)
=>
  (assert(Anemia normocitica))
  (printout t "Sospecha de anemia normocitica." crlf)
)

```

```

        (assert(Pedir datos anemia normocitica))
    )

; ***Anemia macrocítica***
(defrule R5
    (Si anemia)
    (VCM alto)
=>
    (assert(Anemia macrocitica))
    (printout t "Sospecha de anemia macrocitica." crlf)
    (assert(Pedir datos anemia macrocitica))
)

; *****
;                               Diagnóstico de anemias microcíticas

; ***Regla 6: Sospecha de anemia sideroblástica***
(defrule R6
    (Anemia microcitica)
    (Fe normal|alto)
    (Ferritina alta)
    (CTFH normal|alta)
    (Reticulocitos bajos)
=>
    (assert(Afeccion(Diagnosticado "Sospecha de anemia sideroblastica")))
    (assert(Fin diagnostico))
)

; ***Regla 7: Sospechar talasemia***
(defrule R7
    (Anemia microcitica)
    (Fe normal|alto)

```


(Ferritina alta)
(CTFH normal|alta)
(Reticulocitos normales|altos)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Sospechar talasemia")))
(assert(Fin diagnostico))

)

; ***Regla 8: Anemia ferropénica***

(defrule R8

(Anemia microcitica)
(Fe bajo)
(Ferritina baja)
(CTFH alta)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia ferropenica")))
(assert(Fin diagnostico))

)

; ***Regla 9: Anemia de enfermedades crónicas***

(defrule R9

(Anemia microcitica)
(Fe bajo)
(Ferritina baja)
(CTFH normal|baja)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia de enfermedades cronicas")))
(assert(Fin diagnostico))

)

; ***Regla 10: Valorar coexistencia anemia ferropénica y anemia de enfermedades crónicas***

(defrule R10

(Anemia microcitica)

(Fe bajo)

(Ferritina normal|baja)

(CTFH baja)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Valorar coexistencia anemia ferropenica y anemia de enfermedades cronicas")))

(assert(Fin diagnostico))

)

; *****

; Diagnóstico de anemias normocíticas

; ***Regla 11: Anemia de enfermedades crónicas***

(defrule R11

(Anemia normocitica)

(Reticulocitos bajos)

(Fe bajo)

(CTFH baja|normal)

(Ferritina alta)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia de enfermedades cronicas")))

(assert(Fin diagnostico))

; ***Regla 12: Anemia hemolítica (AH)***

(defrule R12

(Anemia normocitica)

(Reticulocitos altos)

(LDH alta)

(Bi ind. alta)

(Haptoglobina baja)

=>

(assert(Anemia hemolitica))

)

; ***Regla 13: Anemia posthemorrágica aguda***

(defrule R13

(Anemia normocitica)

(Reticulocitos altos)

(Con sangrado agudo)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia posthemorragica aguda")))

(assert(Fin diagnostico))

)

; *****

; Diagnóstico de anemias macrocíticas

; ***Regla 14: Anemia perniciosa, malabsorción o vegetarianismo***

(defrule R14

(Anemia macrocitica)

(Reticulocitos bajos)

(Vit.B12 baja)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia perniciosa, malabsorcion o vegetarianismo")))

(assert(Fin diagnostico))

)

; ***Regla 15: Anemia megaloblástica folicopénica***

(defrule R15

(Anemia macrocitica)

(Reticulocitos bajos)

(A. folico bajo)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia megaloblastica folicopenica")))

(assert(Fin diagnostico))

)

; ***Regla 16: SMD-síndromes mielodisplásicos***

(defrule R16

(Anemia macrocitica)

(Reticulocitos bajos)

(Vit.B12 normal)

(A. folico normal)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "SMD-sindromes mielodisplasicos")))

(assert(Fin diagnostico))

)

; ***Regla 17: Anemia hemolítica (AH)***

(defrule R17

(Anemia macrocitica)

(Reticulocitos altos)

(Sin sangrado agudo)

=>

(assert(Anemia hemolitica))

)

; ***Regla 18: Anemia posthemorrágica aguda***

(defrule R18

(Anemia macrocitica)

(Reticulocitos altos)

(Con sangrado agudo)

=>

(assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia posthemorragica aguda")))

(assert(Fin diagnostico))

)

```

; *****
;
;           Diagnóstico para determinar el tipo de anemia hemolítica

; ***Regla 19: Anemia hemolítica autoinmune***
(defrule R19
    (Anemia hemolitica)
    (Test de Coombs positivo)
=>
    (assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia hemolitica autoinmune")))
    (assert(Fin diagnostico))
)
; ***Regla 20: Anemia hemolítica no autoinmune***
(defrule R20
    (Anemia hemolitica)
    (Test de Coombs negativo)
=>
    (assert(Afeccion(Diagnosticado "Anemia hemolitica no autoinmune")))
    (assert(Fin diagnostico))
)
; *****
;
;           Fin diagnostico

; ***Regla para mostrar el informe final del diagnostico NO SE HA ENCONTRADO UN RESULTADO***
(defrule SinDiagnostico
    (declare (salience -1))
    (calcular diagnostico)
    (Paciente
        (Nombre ?nombre)
        (Edad ?edad)
        (Sexo ?sexo))
    (not(Fin diagnostico)) =>
    (printout t crlf crlf
">=====<" crlf crlf)

```

```

(printout t "> DIAGNOSTICO --> " crlf crlf)

(printout t "> Nombre: " ?nombre crlf)

(printout t "> Edad: " ?edad crlf)

(printout t "> Sexo: " ?sexo crlf crlf)

(printout t "> Resultado: Tras el analisis clinico, lamentablemente no hemos logrado determinar un
diagnostico." crlf)

(printout t "Por lo tanto, recomendamos programar una cita para llevar a cabo pruebas mucho mas
exhaustivas" crlf)

(printout t "y precisas que nos permitan llegar a un diagnostico certero." crlf crlf)

(printout t ">=====<" crlf)

(printout t ">=====<" crlf
crlf)

(printout t "Gracias por usar el sistema SADDA." crlf)

)

; ***Regla para mostrar el informe final del diagnostico***

(defrule FinDiagnostico

  (Fin diagnostico)

  (Paciente

    (Nombre ?nombre)

    (Edad ?edad)

    (Sexo ?sexo))

  (Afeccion(Diagnosticado ?diagnostico))

=>

  (printout t crlf crlf

">=====<" crlf crlf)

  (printout t "> DIAGNOSTICO --> " crlf crlf)

  (printout t "> Nombre: " ?nombre crlf)

  (printout t "> Edad: " ?edad crlf)

  (printout t "> Sexo: " ?sexo crlf crlf)

  (printout t "> Resultado: " ?diagnostico crlf crlf)

  (printout t ">=====<" crlf)

  (printout t ">=====<" crlf
crlf)

  (printout t "Gracias por usar el sistema SADDA." crlf)

)

```

8. Caso práctico

El experto ha proporcionado un caso real de anemia con datos concretos. Este caso será utilizado para poner a prueba el sistema desarrollado. Esta colaboración directa nos permitirá validar la efectividad del sistema en un entorno práctico y clínico. Se aprecia la colaboración del experto con el objetivo de perfeccionar el sistema para ofrecer diagnósticos más precisos y eficientes para la anemia.

Situación del paciente:

Eduardo (56 años sin antecedentes de interés) acude a consulta muy preocupado porque tras la analítica de reconocimiento de la empresa han contactado con él para que acuda a su médico de familia por tener alterados algunos parámetros.

- ❖ Hemoglobina 10g/dl.
- ❖ VCM 75 fl.
- ❖ Ferritina 300 ng/m.
- ❖ CTFH 200 mg/dl.
- ❖ Reticulocitos 103 10⁹/l.

Diagnóstico del médico:

- ❖ Talasemia.

Ejecución del sistema:

```

<----->
SSSS  A  DDDD DDDD  A
S     A A D  D D  D A A
SSSS  AAAAA D  D D  D AAAAA
      S A  A D  D D  D A  A
SSSS  A  A DDDD DDDD  A  A

      ****      ****
      *****   *****
      *****
      *****
      *****
      **

<----->
                               Bienvenid@ al sistema SADDA
<----->
Introduzca su nombre:
Eduardo
Introduzca su edad:
56
Introduzca su sexo (M/F):
M
Hemoglobina (alta/normal/baja):
baja
El paciente si tiene anemia. Se procedera a realizar el diagnostico.
VCM (volumen corpuscular medio) (alto/normal/bajo):
bajo
Sospecha de anemia microcitica.
Fe (hierro) (alto/normal/bajo):
normal
Ferritina (alta/normal/baja):
alta
CTFH (capacidad total de fijacion de hierro) (alta/normal/baja):
normal
Reticulocitos (altos/normales/bajos):
altos

```

Diagnóstico de SADDA:

```
>=====<
> DIAGNOSTICO -->
> Nombre: Eduardo
> Edad: 56
> Sexo: M
> Resultado: Sospechar talasemia
>=====<
>=====<
Gracias por usar el sistema SADDA.
```

9. Lógica borrosa

9.1. ¿Qué es la lógica borrosa?

En el campo de la inteligencia artificial y los sistemas expertos, se reconoce ampliamente la importancia de abordar la naturaleza difusa y la incertidumbre que caracterizan muchos aspectos del conocimiento humano. Este reconocimiento se fundamenta en que la realidad no siempre se puede describir de manera precisa y definitiva, sino que a menudo se presenta de manera vaga, imprecisa y sujeta a diversas interpretaciones.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar herramientas y técnicas que puedan manejar eficazmente la información ambigua y no exacta que es inherente a muchos dominios de aplicación.

Aunque existen enfoques establecidos para tratar con la incertidumbre, como los factores de certeza y los modelos Bayesianos, aún queda pendiente la cuestión de cómo abordar de manera efectiva los datos difusos, que constituyen una parte significativa del lenguaje natural y del conocimiento humano.

En respuesta a esta necesidad, surge FuzzyCLIPS, una extensión del lenguaje de programación CLIPS (C Language Integrated Production System) que permite la representación y manipulación de hechos y reglas difusos.

9.2. Fuzziness

Un término borroso se manifiesta cuando no está delimitado de forma clara y precisa. Por ejemplo, términos como "joven", "alto" o "bueno" presentan esta cualidad de ser ambiguos. No existe una medida cuantitativa única que pueda establecer con certeza lo que significa ser "joven". Mientras que, para algunas personas, tener 25 años puede ser considerado como estar en la juventud, para otras, esta misma percepción puede aplicarse a los 35 años.

Esta falta de una definición clara del término "joven" es evidente, ya que mientras que la edad de 1 año puede considerarse definitivamente joven y la de 100 años claramente no lo es, la interpretación de la edad de 35 años como "joven" puede variar dependiendo del contexto en el que se evalúe.

En FuzzyCLIPS, la representación de este tipo de información se apoya en los principios de la teoría de conjuntos difusos, que difiere de la teoría de conjuntos clásica en el sentido de que la pertenencia de un elemento a un conjunto no es necesariamente binaria, sino que puede ser parcial, expresando un cierto grado de pertenencia. De manera más precisa, un conjunto difuso A en un universo de discurso U se caracteriza mediante una función de membresía que establece el grado de pertenencia de cada elemento de U al conjunto A.

9.2.1. Primer ejemplo de lógica borrosa en FuzzyCLIPS

A continuación, se implementará con lógica borrosa en FuzzyCLIPS el ejemplo anterior del término "joven".

Término difuso "joven":

Edad	Grado de membresía
25	1.0
30	0.8
35	0.6
40	0.4
45	0.2
50	0.0

Figura 14: Término difuso "joven".

Gráfica:

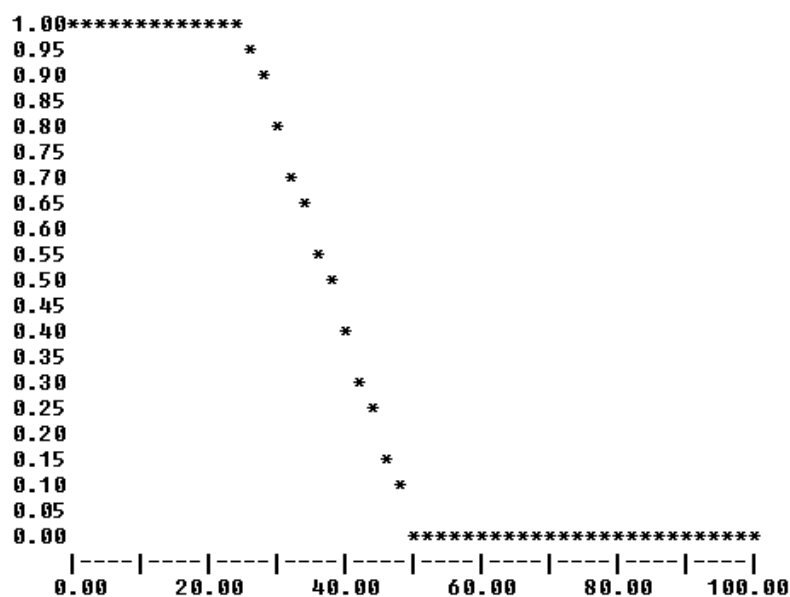


Figura 15: Gráfica correspondiente al término difuso "joven".

Para mostrar la gráfica en la herramienta FuzzyCLIPS se ha ejecutado el siguiente comando:

❖ **(plot-fuzzy-value t * 0 100 1)**

Programa:

```
(deftemplate age ;definition of fuzzy variable 'age'

  0 120 years

  ( (young (25 1) (50 0))
    (old (50 0) (65 1))
  )
)

(deffacts fuzzy-fact

  (age young) ; a fuzzy fact
)

(defrule one ; a rule that matches and asserts fuzzy facts

  (Speed_error big)

=>

  (assert (Throttle_change small))
)
```

Nota: Este ejemplo práctico ha sido sacado del manual de FuzzyCLIPS escrito por Orchard, R. A.

- ❖ Orchard, R. A. (October 1998). FuzzyCLIPS Version 6.04A User's Guide. Integrated Reasoning. Institute for Information Technology, National Research Council Canada.

9.3. Ejemplo de lógica borrosa aplicada a SADDA

Para concluir con este punto sobre la lógica borrosa, se ha querido implementar un ejemplo práctico en FuzzyCLIPS en relación con SADDA.

La hemoglobina es un parámetro crucial para determinar la presencia de anemia, una condición en la cual el cuerpo carece de suficientes glóbulos rojos sanos para transportar oxígeno de manera eficaz. Sin embargo, la interpretación de los niveles de hemoglobina puede ser algo ambigua.

Para abordar esta ambigüedad y permitir una interpretación más flexible de los niveles de hemoglobina, podemos recurrir a la lógica difusa. En lugar de tener límites claros y definidos para determinar si los

niveles de hemoglobina son bajos, normales o altos, podemos definir estos términos como conjuntos difusos con grados de membresía que representan el grado de pertenencia de un valor de hemoglobina a cada categoría.

9.3.1. Hemoglobina baja

Término difuso “hemoglobina baja”:

Hemoglobina (g/dl)	Grado de membresía
5	1.0
6	1.0
7	1.0
8	0.8
9	0.6
10	0.4
11	0.0
12	0.0
13	0.0
14	0.0
15	0.0
16	0.0
17	0.0
18	0.0

Figura 16: Término difuso "hemoglobina baja".

Gráfica:

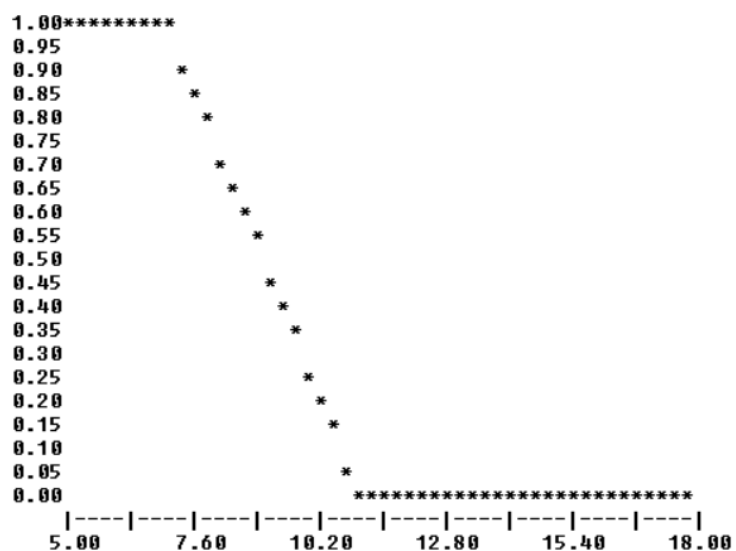


Figura 17: Gráfica correspondiente al término difuso “hemoglobina baja”.

9.3.2. Hemoglobina normal

Término difuso “hemoglobina normal”:

Hemoglobina (g/dl)	Grado de membresía
5	0.0
6	0.0
7	0.0
8	0.2
9	0.4
10	0.8
11	1.0
12	1.0
13	0.8
14	0.6
15	0.4
16	0.2
17	0.0
18	0.0

Figura 18: Término difuso "hemoglobina normal".

Gráfica:

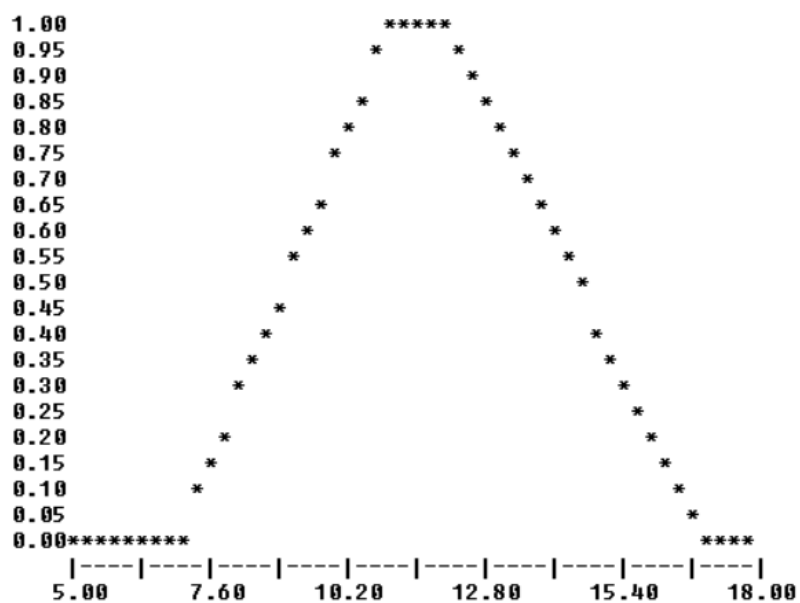


Figura 19: Gráfica correspondiente al término difuso “hemoglobina normal”.

9.3.3. Hemoglobina alta

Término difuso “hemoglobina alta”:

Hemoglobina (g/dl)	Grado de membresía
5	0.0
6	0.0
7	0.0
8	0.0
9	0.0
10	0.0
11	0.0
12	0.0
13	0.2
14	0.4
15	0.6
16	0.8
17	1.0
18	1.0

Figura 20: Término difuso "hemoglobina alta".

Gráfica:

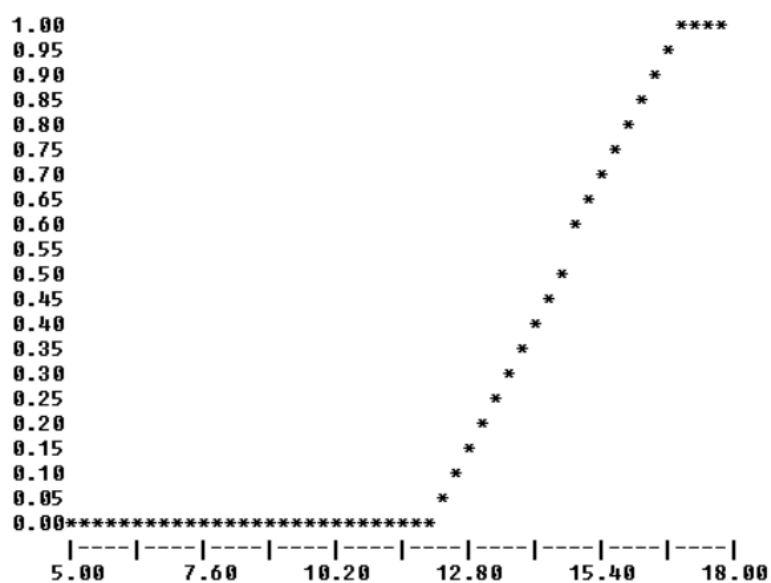


Figura 21: Gráfica correspondiente al término difuso “hemoglobina alta”.

9.3.4. Programa

```
(deftemplate hemoglobin
```

```
  5 18 g/dl
```

```
  ( (low (5 1) (6 1) (7 1) (11 0) (18 0))
```

```
    (normal (5 0) (7 0) (11 1) (12 1) (17 0) (18 0))
```

```
    (high (5 0) (12 0) (17 1) (18 1))
```

```
  )
```

```
)
```

```
(def facts hemoglobin-facts
```

```
  (hemoglobin normal)
```

```
)
```

10. Experto

El experto Félix Canal Calderón, médico con una destacada trayectoria, ha estado ejerciendo la medicina desde junio de 2003. Su experiencia y competencia en el campo médico son indiscutibles, lo que lo convierte en un recurso invaluable para este proyecto. Agradezco sinceramente su colaboración, que ha sido fundamental para el progreso y éxito de este sistema.

11. Conclusiones

El proyecto se centra en el desarrollo de un sistema experto llamado SADDA como trabajo final para la asignatura de Sistemas Basados en el Conocimiento. Se aborda la adquisición y representación del conocimiento, utilizando técnicas como redes semánticas y mapas de conocimiento. Se explora la aplicación de reglas y la inferencia lógica, así como la implementación práctica del sistema. Además, se examinan conceptos como la lógica borrosa y una pequeña implementación en FuzzyCLIPS.

12. Bibliografía

Orchard, R. A. (October 1998). FuzzyCLIPS Version 6.04A User's Guide. Integrated Reasoning. Institute for Information Technology, National Research Council Canada.

Jiménez, J. M. M. (2017). Pregrado de hematología (4.a ed.).

Los apuntes de la asignatura "Sistemas basados en el conocimiento" de la Escuela Superior de Informática han sido consultados/utilizados.