

# SISTEMA EXPERTO PARA LA FORMULACIÓN DE DIETAS ALIMENTICIAS POR VIA ENTERAL EN EL SER HUMANO (SEFDA)

Mariluz Romero García\*

Jorge Enrique Rodríguez Rodríguez\*\*

## Introducción

La alimentación es fuente de vida; permite la subsistencia del ser humano en el medio y su desarrollo como un individuo normal. El proceso se puede realizar de dos formas, dependiendo el estado del tracto gastrointestinal<sup>1</sup> humano; la primera se denomina nutrición por vía enteral (oral) y la segunda nutrición parenteral (por tubo). En nuestro caso el estudio se delimita a los procesos de nutrición enteral, habiéndose investigado las causas por las cuales el ser humano debe colocarse en tratamiento con un experto en el área de nutrición para controlar su estado de salud a través del buen uso de la alimentación.

Los nutricionistas desempeñan un papel fundamental en el proceso de formulación de dietas alimenticias; ellos deben recopilar información, experiencia y emplear teorías para diagnosticar un paciente. El cumplimiento óptimo de estos procesos hizo surgir la necesidad de construir un sistema para dar apoyo a los expertos en el área de nutrición y dietética, diseñando una base de conocimiento en la cual se almacene la información y experiencia en formulación de dietas alimenticias, empleada junto con el mecanismo de razonamiento que interprete este conocimiento.

## 2. ¿Cómo se Lleva a Cabo la Formulación de un Tratamiento Nutricional?

La formulación de dietas alimenticias por vía enteral se realiza de acuerdo con los resultados de los exámenes médicos, los cuales señalan los datos parciales de la patología del paciente, complementados con algunos datos obtenidos directamente por el nutricionista acerca de su paciente: peso actual, peso usual, talla, edad y hábitos alimenticios. Con el análisis de la información obtenida y su tabulación se diagnostica la pato

---

\* Ingeniera de Sistemas, Especialista en Telemática. Profesora adscrita a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

\*\* Ingeniero de Sistemas, Especialista en Telemática. Especialista en Ingeniería del Software. Profesor de tiempo completo adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

1 Estructura anatómica que cumple la función de digestión

---

logía<sup>2</sup> del paciente, recomendando un tratamiento nutricional cuya forma de suministro está determinada por las condiciones de funcionamiento del tracto gastrointestinal. Si éste es funcional se elige la terapia enteral; de lo contrario se elige la terapia parenteral.

Para la elaboración de un tratamiento nutricional el especialista debe consultar alrededor de cinco tablas de alimentos estándar que le permiten determinar las cantidades de calorías, carbohidratos, proteínas y lípidos que el paciente puede consumir. Luego se establecen los porcentajes de participación requeridos de cada nutriente, se relacionan con los alimentos que satisfacen estos requerimientos, y finalmente se organiza el menú diario que se debe consumir.

El manejo de las diferentes tablas de alimentos y la aplicación de los modelos matemáticos empleados para diagnosticar y elaborar tratamientos nutricionales a un buen número de pacientes implica la dedicación de grandes cantidades de tiempo. Por esto los nutricionistas aplican los conocimientos y experiencia obtenida a partir del tratamiento de otros pacientes y elaboran una dieta adecuada, pero sin garantizar que sea la óptima.

### 3. ¿Por qué se Requiere de un Sistema Experto<sup>3</sup>?

El conocimiento y la experiencia de los expertos en el área de nutrición no está disponible en las situaciones en que se requiere debido a diferentes factores que lo impiden. Por este y por los motivos que más adelante se exponen, es necesario desarrollar un sistema de apoyo para que los especialistas puedan mejorar la confiabilidad de los tratamientos nutricionales de los pacientes.

Hasta el momento no se había llegado a desarrollar sistemas como el que se propone; solamente se han realizado sistemas de base de datos para guardar los porcen-

tajes en kilocalorías de las tablas de alimentos, las cuales no son de suficiente ayuda para analizar los requerimientos nutricionales de cada paciente en particular. Los profesionales en nutrición y dietética estarán seguros de formular tratamientos nutricionales óptimos y en poco tiempo, empleando la prescripción nutricional<sup>4</sup> de los pacientes y con el adecuado manejo del SEFDA.

A continuación se exponen algunos objetivos que justifican el desarrollo del sistema experto:

- Mejorar la calidad de conocimiento del nutricionista: si se sistematiza el conocimiento y los procesos de solución a problemas se tiene la posibilidad de ordenar, clarificar y dar rigor a las diferentes reglas y criterios de decisión que utiliza
- Preservar el conocimiento de verdaderos expertos en nutrición a través de la conformación de una base de conocimiento que no muere ni se pensiona o traslada
- Facilitar los procesos de comunicación entre el nutricionista y el paciente
- Simplificar los procesos de transferencia del conocimiento, extrayendo la justificación de soluciones de una base de conocimiento empleando un método de búsqueda estructurado
- Aumentar la disponibilidad del conocimiento necesario para realizar efectivamente la formulación de una dieta. Hasta ahora existe una ubicación central y las consultas se canalizan hacia un reducido grupo de personas (nutricionistas) muy ocupadas y solicitadas; con SEFDA podrán atenderse muchos pacientes en diferentes lugares; dado que el conocimiento se almacena en medios magnéticos
- Disminuir la posibilidad de que un nutricionista saturado de trabajo haga evaluaciones o recomendaciones basadas en gran cantidad de información que puede olvidar

2 Estudio de las características, causas y efectos de la enfermedad tales como se reflejan en la estructura y función del organismo. En: MORA, Rafael, Soporte Nutricional Especial, Ed. Panamericana, 1992

3 Los sistemas expertos son sistemas informáticos que buscan simular los procesos de memorización, acción, comunicación, razonamiento y aprendizaje de un experto humano en determinada área del conocimiento

4 Datos base del paciente como: peso, talla, edad, sexo y reportes del laboratorio.

- Capturar, ordenar y distribuir el conocimiento de los expertos en nutrición en una base de conocimiento
- Crear un dominio del sistema consistente y satisfactorio para el soporte de los procesos de toma de decisiones de los expertos en el área. El conocimiento poseído por el sistema es suministrado por varios nutricionistas que han empleado gran parte de su vida en esta área de la medicina; el diseño y la arquitectura del sistema experto permiten agilizar los procesos de formulación de dietas alimenticias
- Lograr la supervivencia del dominio de conocimientos de profesionales en nutrición que han combinado el conocimiento académico y heurístico<sup>5</sup> obtenido durante muchos años dedicados a la nutrición, mediante el desarrollo de la base de conocimiento
- Emplear la misma base de conocimiento para almacenar información consultada de libros, folletos, conferencias, etc., referentes a nutrición
- Brindar apoyo al experto en el momento en que desee consultar las diferentes tablas de intercambio de alimentos; con esta acción el usuario (experto) también verifica la validez del conocimiento dado por el sistema
- Disminuir significativamente el tiempo de formulación; con el ingreso de los datos del paciente el sistema determina los requerimientos alimenticios de la dieta.

La mayor parte de los pacientes a los cuales se formula una dieta alimenticia en una consulta nutricional toman el alimento por vía enteral; SEFDA está elaborado para personas con costumbres alimenticias de regiones con clima frío (altiplano cundiboyacense), que pueden ingerir el alimento de esta forma y se encuentren en edad adulta (18 años o más).

El sistema no es aplicable para el grupo de lactantes, pues ellos ingieren otro tipo de alimentos, preparados mediante fórmulas comerciales y no caseras; SEFDA es potencialmente aplicable a pacientes a partir de los tres años de edad, incluso adolescentes.

#### 4. ¿Cómo se desarrolló SEFDA?

El sistema formula dietas alimenticias a personas que presentan las siguientes enfermedades: anemia, desnutrición proteica y calórica, diabetes, hiperlipidemias (hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia e hiperlipidemia mixta), hipoglucemia, hipertensión arterial, hiperuricemia, insuficiencia renal y obesidad. Se ha desarrollado a partir del análisis y la recopilación de la información necesaria de parte de los nutricionistas, para entender el proceso de formulación manual que éstos realizan; en el proceso intervino un ingeniero de conocimiento<sup>6</sup> y dos expertos en el área de nutrición.

La herramienta de programación seleccionada para construir el prototipo de sistema experto fue el Delphi Versión 3.0, con su lenguaje nativo Pascal. Delphi emplea las últimas técnicas de programación (orientada a objetos), y ofrece grandes facilidades para la construcción de la interfaz con el usuario; además es uno de los lenguajes más potentes, flexibles y utilizados en la construcción de sistemas basados en computadora.

En la fase de análisis del sistema se tuvieron en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- Análisis conductista: el experto da solución a una patología a partir de los hechos iniciales del paciente como peso actual, talla, sexo, edad y exámenes de laboratorio, para calcular luego el valor total de kilocalorías a consumir en alimentos constructores, reguladores y energéticos. Esto hace que el nutricionista/dietista plantee la primera solución satisfactoria

5 Conocimiento que se adquiere a través de la experiencia. En: CORREDOR, Martha, Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos (Ediciones UIS, 1992)

6 Persona que se encarga de transformar el conocimiento que posee un experto humano en determinada área del conocimiento a una forma que entienda la computadora

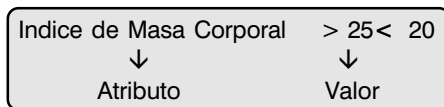
ria que encuentre al problema, deduciéndose que la búsqueda para extrapolar hechos se realiza en profundidad

- Análisis epistemológico: la base de conocimiento, las reglas de producción y el motor de inferencia constituyen el corazón de SEFDA. El tipo de conocimiento que utiliza el experto para solucionar un problema es de tipo simbólico y numérico.

Los Sistemas de Producción (SP) son el esquema más comúnmente empleado en Sistemas Expertos comerciales; ellos utilizan reglas de producción para la representación del conocimiento, con la siguiente estructura:

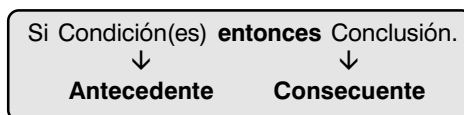
**SP = < BC, RP, CONTROL >**

BC es la base de conocimiento, la cual permite describir el estado del problema en cada momento. Normalmente esta descripción se hace a través de parejas atributo-valor; un ejemplo es el siguiente:



El índice de masa corporal es un parámetro que determina el estado de peso (normal, bajo de peso y obeso) de una persona, dependiendo de unos valores estándar que utiliza el experto en el área de nutrición para establecer una hipótesis.

**RP:** son las Reglas de Producción que permiten realizar inferencias y tienen la forma:



El Antecedente está formado por la(s) condición(es) que debe(n) cumplirse para que la regla se use o *dispare*. Las condiciones pueden estar ligadas por «Y» o por «O». El consecuente son acciones a realizar al usar la regla; estas acciones pueden ser entrar condiciones de nuevos estados de la base de conocimiento, modificar las descripciones existentes y dar respuestas al usuario. Un ejemplo es el siguiente:

**<R1>: Si sexo = Femenino O sexo = Masculino Y Índice de Masa Corporal (IMC) > 25 Y Tipo de Obesidad > 131% Entonces Patología = OBESIDAD SEVERA**

**<R2>: Si Sexo = Masculino Y Hematocritos < 45% Y Hemoglobina < 13 g/dL Entonces Patología = ANEMIA**

- Análisis Cognoscitivo: cuando se utiliza lógica al razonar, con frecuencia se está tratando de establecer la verdad de una secuencia o responder a una pregunta del usuario, basados en la intuición y el conocimiento del nutricionista / dietista.

Se hace necesario el control de este razonamiento utilizando Reglas de Producción, dado que éstas poseen un antecedente y una conclusión. El proceso de inferencia consiste en la creación encadenada de reglas; la conclusión al final del encadenamiento unifica la hipótesis y las premisas de las reglas al comienzo del encadenamiento se prueban desde la base de hechos (BH) inicial. También se debe unificar la cláusula en la conclusión de una regla con una cláusula en la premisa de otra; el problema de control de inferencia se convierte en decidir qué premisa unifica con qué conclusión, proceso que se apoya en las llamadas *estrategias de control*.

La estrategia de control utilizada en este caso es el encadenamiento hacia delante. Así, por ejemplo, para probar la existencia de una patología en un paciente se parte de los siguientes hechos:

#### Base de Hechos (BH)

Peso Actual = 70 Kg  
 Peso Usual = 60 Kg  
 Talla = 166 Cm  
 Peso Ideal o Peso para Talla = 56.8 Kg  
 Sexo = Femenino  
 Exámenes: Colesterol = 250 mg/dL  
 Triglicéridos = 170 mg/dL

#### Base de Reglas (BR):

Regla 1: **Si IMC > 25 Entonces Patología = OBESIDAD**  
 Regla 2: **Si Colesterol > 220 mg/dL Entonces Patología = HIPERCOLESTEROLEMIA**  
 Regla 3: **Si Triglicéridos > 150 mg/dL Entonces Patología = HIPERTRIGLICIDEMIA**  
 Regla 4: **Si Patología = OBESIDAD Y Tipo\_obesidad >= 121% Y Tipo\_obesidad <= 130% Entonces Diagnóstico = OBESIDAD MODERADA**

**Base de Conocimiento (BC):**  
 Fórmula: Índice de Masa Corporal(IMC) = Peso Actual / (Talla)<sup>2</sup>  
 IMC = 25,40  
 Si IMC < 20 Entonces Paciente con bajo peso  
 Si IMC >= 20,1 Y IMC <= 25 Entonces Paciente con peso normal  
 Si IMC > 25 Entonces Paciente obeso con sobre peso

5. ¿Cómo funciona SEFDA?



Figura 1. Acceso a SEFDA

Para entrar a SEFDA se debe ingresar una clave de acceso, la cual permite determinar el tipo de usuario (ingeniero de conocimiento ó experto). Como se ha dicho, el sistema posee una base de conocimiento en la cual se guarda el conocimiento y la experiencia del experto en nutrición y dietética constituyendo tablas como: relación talla-peso, grupos de alimentos, alimentos, exámenes del laboratorio clínico, parámetros y fórmulas básicas, condiciones, hipótesis y reglas del sistema.

SEFDA permite que un nutricionista actualice su base de conocimiento adicionando, modificando o borrado el conocimiento existente. Para esto ofrece un módulo de actualización, el cual se presenta en la Figura 2.

El motor de inferencia y la base de conocimiento constituyen el corazón de todo el prototipo del sistema experto. El primero contiene los algoritmos para deducir conclusiones o soluciones para el usuario, con base en

los hechos y en el conocimiento almacenado en la base de conocimiento.

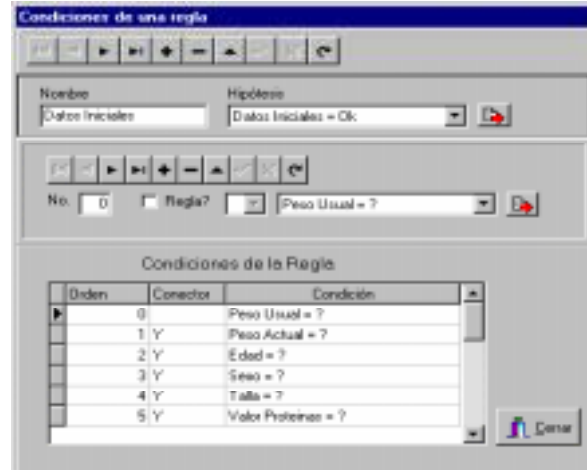


Figura 2. Módulo de Actualización del Conocimiento

El encadenamiento hacia adelante (orientado por datos) consiste en seleccionar la regla más completa cuya hipótesis sea condición de una regla posterior, y así sucesivamente hasta encontrar el objetivo o conclusión final.

El método de búsqueda seleccionado para este sistema se denomina *búsqueda en profundidad*; mediante él se selecciona una regla determinada y se sigue por ese camino hasta lograr el objetivo. El algoritmo general se muestra en la Figura 3.

El propósito para el cual se desarrolló específicamente el sistema SEFDA, es la formulación de una dieta alimenticia. En Figuras 4 y 5 se ilustra la forma como se lleva a cabo este proceso.

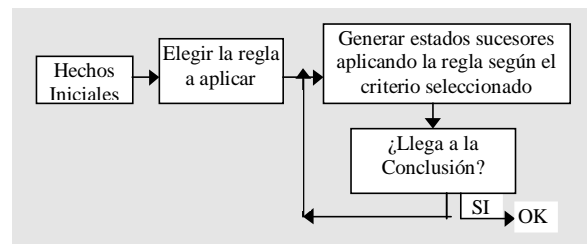


Figura 3. Método de Encadenamiento

El proceso de inferencia inicia con la entrada de información suministrada por el nutricionista, con la cual el

sistema hace una búsqueda por la base de hechos para verificar su valor de verdad; posteriormente se selecciona la regla más adecuada haciendo uso del algoritmo de búsqueda en profundidad. Cuando se deduce el primer diagnóstico se vuelve a repetir el proceso de búsqueda hasta llegar a la formulación de la dieta alimenticia.



Figura 4. Generación de Conocimiento en SEFDA



Figura 5. Formulación de Dietas Alimenticias

Las pruebas de campo de SEFDA se realizaron en los consultorios en que laboran los nutricionistas que suministran el conocimiento para el sistema. Para probar el conocimiento almacenado, el método de inferencia, la actualización del conocimiento y la interfaz de usuario

se construyeron reglas que condujeran a ciertas dietas alimenticias en especial, para aquellos pacientes con desnutrición calórica severa y con obesidad.

Una vez almacenado el conocimiento mediante reglas se procede a realizar las pruebas al prototipo, hechas por el nutricionista / dietista. A continuación se describe en detalle la primera prueba realizada al prototipo:

- El experto inicia por ingresar la prescripción nutricional del paciente, por ejemplo:

Peso actual	=	50 Kg
Peso usual	=	63 Kg
Talla	=	172 cm
Sexo	=	Masculino
Edad	=	25 años
Valor de proteína	=	7 gr/dL
Valor de albumina	=	3.8 gr/dL
Valor de globulina	=	3 gr/dL

- Empleando el método de inferencia de encadenamiento hacia adelante el sistema inicia seleccionando las reglas que contienen dentro de sus condiciones la prescripción nutricional, para su posterior evaluación

- De cada una de las reglas evaluadas se obtiene una conclusión, como se muestra:

Datos Iniciales	=	OK
Examen Proteína	=	Normal
Examen Albumina	=	Normal
Examen Globulina	=	Normal

- Luego el sistema procede a calcular el *índice de masa corporal* (en la prueba se halló un valor de 16,9), posteriormente evaluado para la entrega del diagnóstico; también se calcula el *porcentaje de cambio de peso*, mediante la relación entre el peso usual y el peso actual (el resultado de la prueba fue de 20,63).

- Con las hipótesis deducidas y los anteriores valores calculados el prototipo procede a realizar un encadenamiento hacia delante evaluando el valor de estos ítems y obteniendo nuevas conclusiones:

Paralelamente con el proceso anterior se está determinando el gasto energético o cantidad de kilocalorías (Kcal.) que el paciente debe consumir diariamente (en la prueba se asume un valor de 1441 Kcal.). Luego se determina un gasto energético total, que varía de acuerdo con la actividad desarrollada por el paciente (en la prueba, 1873.3 Kcal.)

## 6. Notas Finales

SEFDA puede ser implementado en casos de patologías y tratamientos vía enteral. Quien desee expandir su base de conocimiento puede incluir otras patologías que se presenten a nivel de consulta, tales como insuficiencia renal, enfermedad acidopéptica (gastritis y úlceras), colon irritable, osteoporosis, entre otras. Un grupo de nutricionistas e ingenieros de sistemas están trabajando para

generar una segunda versión de SEFDA, buscando mejorar el método de razonamiento utilizado, la interfaz con el usuario y la justificación a cada una de las formulaciones alimenticias.

El conocimiento suministrado por expertos en nutrición y dietética es fundamental para generar nuevas versiones; de igual forma es primordial la habilidad del ingeniero del conocimiento para transformar el dominio de los expertos.

Por último, los autores de este artículo desean destacar la importancia del desarrollo de SEDFA, el cual es un paso importante en la utilización de sistemas expertos como herramienta para apoyar la toma de decisiones de expertos en las áreas de dietética y nutrición del ser humano.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- **ANDERSON D., Mitchell r.** Nutrición Humana. Principios y Aplicaciones. Bellaterra S.A. Barcelona, 1990
  - **CORREDOR, Martha.** Principios de Inteligencia Artificial & Sistemas Expertos. Ediciones UIS. Colombia, 1992
  - Memorias de Manipulación Nutricional de Enfermedades Comunes. Diseño y Diagramación. Santa Fe de Bogotá, mayo de 1991
  - **ROLSTON, David.** Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Ed. McGraw Hill, México, 1993
  - **WINSTON, Patrick.** Inteligencia Artificial. Addison-Wesley Iberoamericana. Veracruz (México), 1994
-