

SISTEMA DE APOYO EN LA PRESCRIPCIÓN NUTRICIONAL  
DE PACIENTES GRAVES Y EN ESTADO CRÍTICO  
UTILIZANDO RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS

TESIS QUE PRESENTA

**JULIÁN SATUÉ RODRÍGUEZ**

PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

ASESOR

**M. EN C. MIGUEL CADENA MÉNDEZ**



ENERO 2002.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - IZTAPALAPA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

*MCM*

*J. Satué Rodríguez*  
*M. Cadena Méndez*

*Este trabajo es dedicado con amor a mi familia, a la luz oculta en la  
profundidad de mi Ser que hace posible el progreso y desarrollo de  
todos los seres y a todos los amantes del conocimiento que con fin  
altruista trabajan por el beneficio de la humanidad*

# *Agradecimientos*

*Al M. en C. Miguel Cadena Méndez por su asesoría académica en el desarrollo de esta tesis y por el apoyo económico para mi manutención y para la compra del shell ReCall.*

*Un inmenso agradecimiento al Dr. Rogelio Miranda encargado del apoyo metabólico nutricional en la UCI, quien con su dedicación y entrega contribuyo a la definición de las variables fisiológicas más importantes en la valoración nutricional, a la evaluación de la mitad de los casos que contiene el sistema y con parte de la información contenida dentro de la ayuda para el cálculo de los requerimientos nutricionales. Además por proporcionar el apoyo económico para mi manutención y para la compra del shell "ReCall", junto con la asesoría académica en el manejo nutricional del paciente grave y en estado crítico.*

*Un inmenso agradecimiento al Dr. Jorge Alberto Castañon González jefe de la Unidad de Cuidados Intensivos y Medicina Crítica del Hospital de Especialidades del Centro Médico Siglo XXI, por proporcionarme asesoría académica y el apoyo económico para la realización de esta tesis, por enseñarme una nueva forma de plantear soluciones a problemas prácticos y por permitir dar a conocer la importancia y la utilidad que tiene el Ingeniero Biomédico dentro una Unidad de Cuidado Intensivo.*

*A la Lic. en Nutrición Rocío Elena Torres encargada del apoyo metabólico nutricional de la UCI, por haberme ayudado a comprender el estado de la técnica dentro del campo de la nutrición clínica en pacientes graves y en estado crítico, por haber contribuido con la evaluación de la mitad de los casos utilizados por el sistema y con parte de la información contenida dentro de la ayuda para el cálculo de los requerimientos nutricionales.*

*A la UCI del Hospital de Especialidades del Centro Médico Siglo XXI y a todos sus especialistas, quienes me permitieron formar parte de su grupo de trabajo, confiando en el conocimiento y las capacidades que tiene el Ingeniero Biomédico, para plantear soluciones desde el punto de vista Ingeniería una vez comprendida la problemática médica, a problemas reales existentes en la UCI.*

*A la Ingeniero Gloria Rocío Pereira por participar en el desarrollo de la ayuda para el cálculo de los requerimientos nutricionales.*

*Un inmenso agradecimiento a mi amigo y hermano José Sergio Camacho por su amistad y apoyo a lo largo del desarrollo de esta tesis.*

# INDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Terapéutica Nutricional de Pacientes Graves y en Estado Crítico .....</b>	<b>5</b>
1.1 Desnutrición Aguda .....	5
1.2 Composición Corporal .....	8
2. Pruebas para la evaluación del estado nutricional en pacientes no críticos.....	10
2.1 Cuantificación del Peso Corporal .....	10
2.2 Mediciones Antropométricas .....	11
2.3 Parámetros Bioquímicos .....	12
2.4 Evaluación Subjetiva Global .....	14
2.5 Índices Pronósticos .....	15
3. Metas y Principios Generales del Apoyo Nutricional en Pacientes Graves y en Estado Crítico.....	17
4. Principios Generales del Apoyo Nutricional .....	17
4.1 Macronutrientes .....	17
4.1.1 Calorías Totales .....	17
4.1.2 Glucosa .....	18
4.1.3 Grasas .....	18
4.1.4 Fuentes de Proteína .....	18
4.2 Micronutrientes .....	19
4.3 Vía de Administración .....	20
4.3.1 Vía Enteral .....	20
4.3.2 Vía Parenteral .....	21
4.4 Monitoreo .....	21
<b>5. SISTEMAS ESPECIALISTAS .....</b>	<b>25</b>
5.1 Estructura de un Sistema Especialista .....	26
5.1.1 Base de Conocimientos .....	26
5.1.2 Interfases de Comunicación .....	26
5.1.3 Mecanismo de Inferencia .....	27
5.2 Tipos de Sstemas Especialistas .....	27
5.2.1 Basados en Reglas de Producción .....	27
5.2.2 Basados en Modelos Causa-Efecto .....	28
5.2.3 Basados en Redes Semánticas .....	28
5.2.4 Basados en "Frames" (Marcos) .....	28
5.2.5 Basados en Casos .....	28
5.3 Qué es un Caso? .....	29
5.4 Fundamentos de los Sistemas Especialistas Basados en Casos .....	29

5.4.1 Ventajas de los Sistemas Especialistas Basados en Casos .....	30
5.5 Estructura de un SEBC .....	31
5.5.1 Indexación .....	32
5.5.2 Recuperación .....	33
5.5.3 Adaptación .....	35
5.6 Herramientas para Desarrollar SE .....	36
5.7 Criterios de Selección de un "Shell" .....	36
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>41</b>
2.1 Selección de las Variables Fisiológicas más importantes en la valoración nutricional de pacientes graves y en estado crítico .....	41
2.2 Definición de los Criterios de Inclusión, No Inclusión y Exclusión para la valoración de los pacientes .....	47
2.3 Criterios de Selección del Shell "ReCall".....	48
2.4 Diseño del SAPNPGEC .....	48
2.4.1 Desarrollo de la Base de Conocimientos .....	49
2.4.1.1 Conformación de la Base de Casos .....	49
2.4.1.2 Desarrollo del Proceso de Indexación .....	53
2.4.2 Desarrollo del Módulo de Inferencia .....	55
2.4.2.1 Recuperación .....	55
2.4.2.2 Adaptación .....	56
2.4.3 Interfase con el Usuario .....	58
2.5 Diseño de una Guía de Tratamiento para dar Apoyo Metabólico-Nutricional a Pacientes Graves y en Estado Crítico.....	59
2.6 Evaluación del Sistema SAPNPGEC y de la Guía de Tratamiento Metabólico-Nutricional .....	62
<b>III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>68</b>
3.1 Pruebas Realizadas .....	68
3.2 Resultados .....	70
3.3 Interpretación de Resultados .....	72
3.4 Conclusiones .....	74
<b>IV. REFERENCIAS .....</b>	<b>76</b>

# Introducción

El cuidado nutricional de un enfermo grave permite una mejor recuperación de su homeostasis cuando está sometido a un estrés quirúrgico o séptico. Además disminuye el riesgo de presentar complicaciones tales como fístulas, mala cicatrización y desunión de anastomosis. Así como también favorece la recuperación de la desnutrición aguda que produce la sepsis, simplemente con una adecuada estrategia nutricional. Contrariamente, un enfermo desnutrido tiene menos reservas proteínico-calóricas para generar compuestos orgánicos-energéticos que le permitan realizar adecuadamente las reacciones bioquímicas necesarias para recuperar su equilibrio homeostático. Por lo anterior es importante establecer los criterios que permitan la determinación temprana del inicio del apoyo nutricional, mediante la generación de estrategias alimenticias.

Determinar que enfermo debe recibir apoyo nutricional es el pilar fundamental para cualquier terapéutica nutricional, como parte del tratamiento médico integral, cuya finalidad es disminuir la morbi-mortalidad. Proporcionar la cantidad precisa de energía a través de las calorías requeridas es el segundo pilar para el apoyo nutricional. La terapéutica por medio de la nutrición incluye: (a) la evaluación del estado nutricional del paciente, (b) el cálculo de las necesidades energéticas, (c) la administración de dietas líquidas en fórmulas diseñadas específicamente para la patología del paciente, las que son administradas por vía oral o por sondas localizadas en el tracto gastrointestinal (nutrición enteral), o por la administración parcial o total de nutrientes por vía endovenosa (nutrición parenteral), (d) y el seguimiento de los cambios en el metabolismo por técnicas de laboratorio clínico o por Calorimetría Indirecta (CI).

Los especialistas en nutrición de la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) generalmente, basados en la información obtenida por parámetros antropométricos (talla, sexo y edad), clínicos, bioquímicos, inmunológicos o por CI, valoran el estado nutricional del paciente y con base en su experiencia de

casos previos generan un diagnóstico y proponen la mejor estrategia nutrimental posible. Esta valoración no se considera 100 por ciento exacta, debido a la amplia variación que se observa entre pacientes y aun en el mismo paciente de un día a otro, debido a los cambios en las condiciones clínicas; lo que indica el papel que juega la experiencia del especialista en la generación de estas estrategias nutrimentales. Los criterios de selección de las diferentes estrategias pueden variar de una UCI a otra; aun dentro de un mismo grupo de especialistas, lo que indica que es un campo de investigación que todavía se mantiene en controversia y evolución. Esto ha favorecido la falta de homogeneidad del tratamiento nutrimental en un mismo tipo de patología, lo que puede repercutir en que los pacientes retarden su recuperación y así se incrementen los costos de paciente día-cama en las UCI.

En las UCI en donde no se cuenta con muchos expertos en nutrición, la valoración del estado nutricional de los pacientes en estado crítico se convierte en una tarea difícil de realizar y las estrategias nutrimentales generadas pueden no ser las adecuadas a las condiciones clínicas del paciente. Esto genera la necesidad de implementar sistemas que representen el conocimiento y la experiencia de los especialistas en nutrición en la UCI de la mayoría de los hospitales, para que sean utilizados por médicos que no tienen experiencia en la evaluación nutrimental de este tipo de pacientes. Además los mismos médicos residentes de la UCI que no han recibido una preparación en nutrición, podrían recibir orientación acerca del tipo de apoyo nutrimental que deben proporcionar a sus pacientes mediante el uso de estos sistemas.

El uso de programas computacionales en servicios de nutrición desde los años ochenta, ha sido de gran utilidad en la valoración del estado nutrimental y en la determinación de estrategias adaptadas a las necesidades de cada paciente. Estos programas incluyen por ejemplo una lista de medicamentos y sus implicaciones nutrimentales, los valores de laboratorio tanto normales como anormales y tablas para evaluar altura, peso y pliegues cutáneos. Los datos de

cada paciente se comparan con esta información para realizar la evaluación de su estado clínico y posteriormente son revisados e interpretados por el especialista.

Otro tipo de programas computacionales aplicados al apoyo de decisiones médicas son los sistemas especialistas o expertos (SE) o también conocidos como sistemas basados en conocimiento. Estos son programas computacionales que representan “a” y razonan “con” conocimientos de un dominio especializado, que tratan de resolver problemas y proporcionan ayuda en un área del conocimiento, así como también pueden explicar las conclusiones a las que se llega.

El uso de SE aplicados a la medicina, permite la toma de decisiones médicas, muestran sugerencias y alternativas razonadas, ayudan a estandarizar actitudes, métodos y tratamientos, respetan la autonomía del profesional de la medicina, potencia la idoneidad y efectividad de los recursos empleados en la práctica clínica, facilitan la extensión del conocimiento, potencian una enseñanza interactiva (basada en casos y ejemplos) y ayudan en la aplicación de protocolos de investigación y de estudios clínicos.

Un caso en particular son los SE que se basan en casos (SEBC), los cuales simulan el proceso de razonamiento del especialista, basado en el uso de experiencias previas (casos) para generar soluciones a nuevos problemas. Su implementación se reduce a identificar las características que describen un caso; además pueden manejar grandes volúmenes de información en forma de casos y pueden adquirir nuevo conocimiento proveniente directamente del especialista aun si éste no tiene conocimientos de programación, lo que hace fácil el mantenimiento de estos sistemas.

La razón por la que algunos de estos SE no han tenido gran aceptación en el medio médico, se debe a que los médicos requieren herramientas fáciles y rápidas de usar, y a que algunos de estos programas realizan demasiadas

preguntas al especialista para poder llegar a una solución particular, poseen interfases de usuario de difícil manejo, no se adaptan fácilmente al proceso de asistencia médica, el cual involucra escasa disponibilidad de tiempo, además algunos médicos presentan una "tecnofobia" o ignorancia en el uso de los computadores; razón por la que no se utilizan. Además muchos de estos programas no tienen la posibilidad de adquirir nuevo conocimiento, que permita un aprendizaje continuo.

El propósito de éste proyecto es desarrollar un SEBC que capture el conocimiento, la experiencia y la metodología de algunos especialistas en nutrición, que evalúan a los pacientes en estado crítico, con la finalidad de dar apoyo nutrimental, logrando de esta manera una herramienta de ayuda en los hospitales que carecen de estos especialistas en nutrición, que contribuya a la enseñanza del conocimiento especializado. Además se pretende que el sistema sea de fácil manejo, pueda adquirir nuevo conocimiento del especialista y con base a la información de pocas variables proporcionadas por el usuario del sistema, sugerir que tipo de apoyo nutrimental debe recibir el paciente.

Particularmente éste SEBC genera estrategias para resolver los siguientes problemas:

- Vía de administración de nutrimentos (oral, parenteral, enteral o ayuno).
- Predicción de ingesta calórica, por métodos de mediciones antropométricas.
- Sugerencias del tipo de nutrimentos.

Finalmente la hipótesis a proponer es la siguiente:

"Un SEBC puede reunir la experiencia y metodología del especialista en nutrición basada en "casos" clínicos (síntomas, exámenes de laboratorio, examen físico, estrategias nutrimentales) para dar apoyo en la prescripción nutrimental de pacientes graves y en estado crítico".

# I. Antecedentes

## 1. Terapéutica Nutricional para Pacientes Graves y en Estado Crítico

### 1.1 Desnutrición Aguda

Las condiciones fisiopatológicas que presentan los pacientes graves y en estado crítico hacen necesaria su estancia en la UCI con la finalidad de recibir apoyo vital avanzado. La respuesta del paciente consiste en cambios fisiológicos y metabólicos coordinados y dirigidos a incrementar las posibilidades de sobrevivencia. Los cambios que se producen en el metabolismo intermedio a nivel de los sustratos principales como son los hidratos de carbono, grasa y proteínas tienen como finalidad mantener un aporte continuo de glucosa al sistema nervioso y a las células inmunológicas que se concentran en los sitios de infección, éste proceso se lleva a cabo vía la utilización de proteínas que se transforman en elementos simples como la glucosa (gluconeogénesis) para ser utilizada como una fuente de energía. Este fenómeno se ve favorecido por el ayuno, ya que la glucosa almacenada en el hígado (200 g) se termina en un periodo de 18 a 24 h. Este proceso de adaptación favorece el catabolismo proteínico. Aunque la respuesta es variable entre diferentes enfermos, la magnitud de la misma guarda una relación directa con el tamaño de su masa celular magra (tejido metabólicamente activo) y con la severidad de la enfermedad. Un individuo joven, bien nutrido y con una masa magra mayor, generará también una respuesta metabólica mayor. Desde el punto de vista clínico si la respuesta es persistente se producen cambios profundos en la composición corporal y si no se resuelve en un periodo corto de tiempo se genera una deficiencia de nutrientes que influye en la morbimortalidad del paciente [1].

La desnutrición aguda que se produce en los pacientes graves y en estado crítico, a diferencia de la que presentan los pacientes crónicos que no están en estado crítico, no está determinada principalmente por el ayuno, sino: por su

respuesta a la severidad de la enfermedad, por la cantidad de la masa muscular magra del paciente en ese momento, y por el inadecuado apoyo metabólico nutricional durante el estado crítico. Este último aspecto favorece la terminación de las reservas de proteínas corporales, lo que se denomina "autocanibalismo". La disminución en las reservas de proteínas ocurre cuando el ayuno esta acompañado con estrés, debido a que las reservas de grasa no son la fuente principal de energía. Los pacientes en estado crítico con una respuesta inflamatoria sistémica, sepsis, o traumatismo; utilizan las reservas proteínicas para la producción de energía debido a la elevada concentración sérica de insulina; la resistencia tisular a su acción, inhibe la lipólisis y favorece el uso de estas reservas [2].

La figura 1, muestra la respuesta metabólica típica a la lesión tisular, la cual se manifiesta progresivamente por estado de shock, y resucitación que puede ser repetitiva con persistencia del síndrome de respuesta inflamatoria sistémica que si continua evoluciona a disfunción orgánica y falla orgánica progresiva. Las respuestas fisiológicas y metabólicas son reguladas por mecanismos nerviosos, hormonales, paracrin (control hormonal de las células vecinas) y autocrinos (autocontrol celular hormonal).

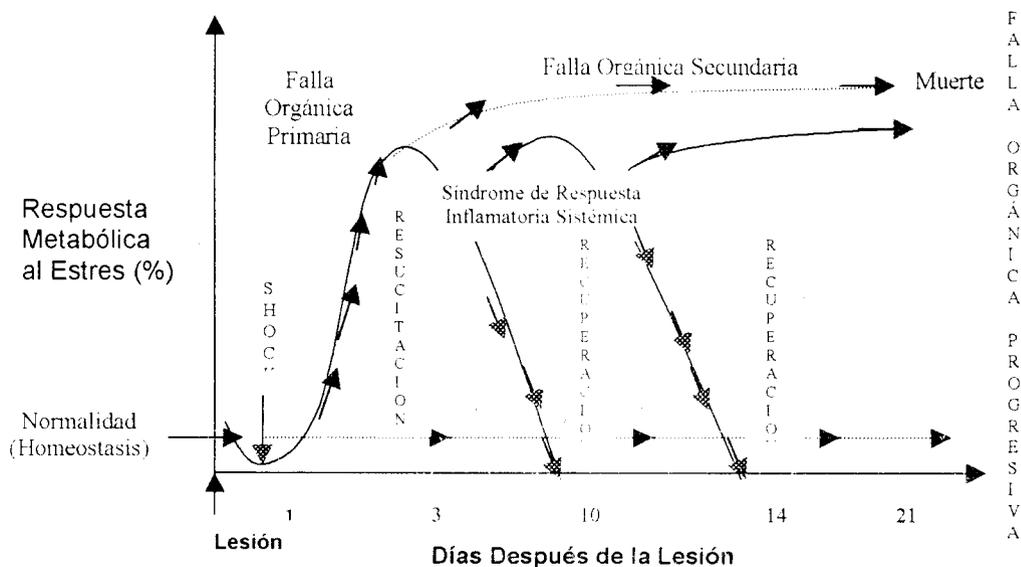


Figura 1: Respuesta Metabólica a la Lesión Tisular

Las reservas proteínicas sirven como sustrato metabólico, éstas incluyen las proteínas que se derivan del músculo, sangre y de las vísceras. Por lo tanto, la evaluación de la desnutrición aguda en pacientes graves y en estado crítico, no puede ser realizada desde el punto de vista clínico por los parámetros antropométricos, químicos e inmunológicos que se utilizan en pacientes con desnutrición crónica, los que reflejan las alteraciones que se producen en la composición corporal y que se llevan a cabo a largo plazo [3]. Finalmente es importante resaltar que hasta ahora no existe una prueba que sea sensible y específica para establecer el grado de desnutrición aguda en este tipo de pacientes. Desde el punto de vista práctico es posible establecer en los pacientes graves y en estado crítico el grado de catabolismo proteínico, a través de la medición del nitrógeno ureico urinario (NUU); éste indica el nivel catabólico, se obtiene de medir la excreción del nitrógeno ureico urinario (NUU) en orina de 24 h, donde en la práctica clínica se aceptan los siguientes intervalos: normal de 0 a 5 g, leve de 6 a 10 g, moderado de 11 a 15 g y severo mayor de 15 g en 24 h [4]. Otro denominado "índice catabólico (IC)" que indica el nivel de "estrés metabólico" se obtiene mediante la ecuación 1. Este índice clasifica a los pacientes como normal si es menor de 0, leve de 0 a 5 y severo mayor de 5 [4].

$$\text{IC} = \text{NUU (g /24 H)} - (\text{Nitrógeno de la dieta} + 3 \text{ g}) \times 0.5$$

*Ecuación 1: Fórmula para calcular el índice catabólico*

El cálculo de éste índice es práctico, fácil de realizar y es en la actualidad la mejor manera de evaluar el "estrés metabólico" del paciente a su ingreso a la UCI y durante su estancia, es útil para monitorizar el efecto que tiene el apoyo metabólico-nutricional durante la evolución de su padecimiento.

## 1.2 Composición Corporal

El cuerpo comprende 35 componentes que se clasifican en cinco niveles y que progresivamente aumentan su nivel de complejidad, la figura 2 muestra un esquema de estos niveles. Los niveles son los siguientes:

- Nivel I o atómico (nitrógeno, oxígeno, potasio, hidrógeno y otros)
- Nivel II o molecular (agua, grasa, proteínas, glucógeno y otros)
- Nivel III o celular (masa celular, líquido intracelular y extracelular)
- Nivel IV o tejido / sistema (músculo esquelético, tejido adiposo, sangre y otros)
- Nivel V o corporal total (talla, peso y otros)

Cada nivel y sus componentes son distintos, pero si todos los componentes de cada nivel se suman, el total equivale al peso corporal. Por ejemplo, a nivel molecular se tiene:  $\text{Peso corporal} = \text{Grasa} + \text{Agua} + \text{Proteínas} + \text{Minerales} + \text{Glucógeno}$ . Los niveles y los componentes dentro de cada nivel son distintos; sin embargo, todos están asociados dentro y entre cada nivel. Por ejemplo, la adiposidad está caracterizada por el carbón corporal, grasa, células grasas y tejido adiposo, todos a nivel atómico, molecular, celular y a nivel de tejidos y sistemas [5].

Aunque la tecnología moderna permite en la actualidad medir todos los componentes in vivo, estas metodologías no están disponibles para su uso clínico en la cama del enfermo. Así el estado nutricional de un paciente se basa en el juicio clínico (experiencia del experto en nutrición) en conjunto con una serie de indicadores del estado del paciente, como la historia clínica, los cambios de peso y de las funciones fisiológicas del paciente, la utilización de marcadores bioquímicos como la concentración sérica de albúmina, transferina y otros, la medición antropométrica de pliegues y circunferencia de brazos. La correlación entre mediciones antropométricas de la composición corporal y el estado clínico, llevó a estandarizar estos cambios en la composición corporal

para tratar de evaluar la severidad de la desnutrición y la respuesta a la intervención con el apoyo metabólico nutrimental.

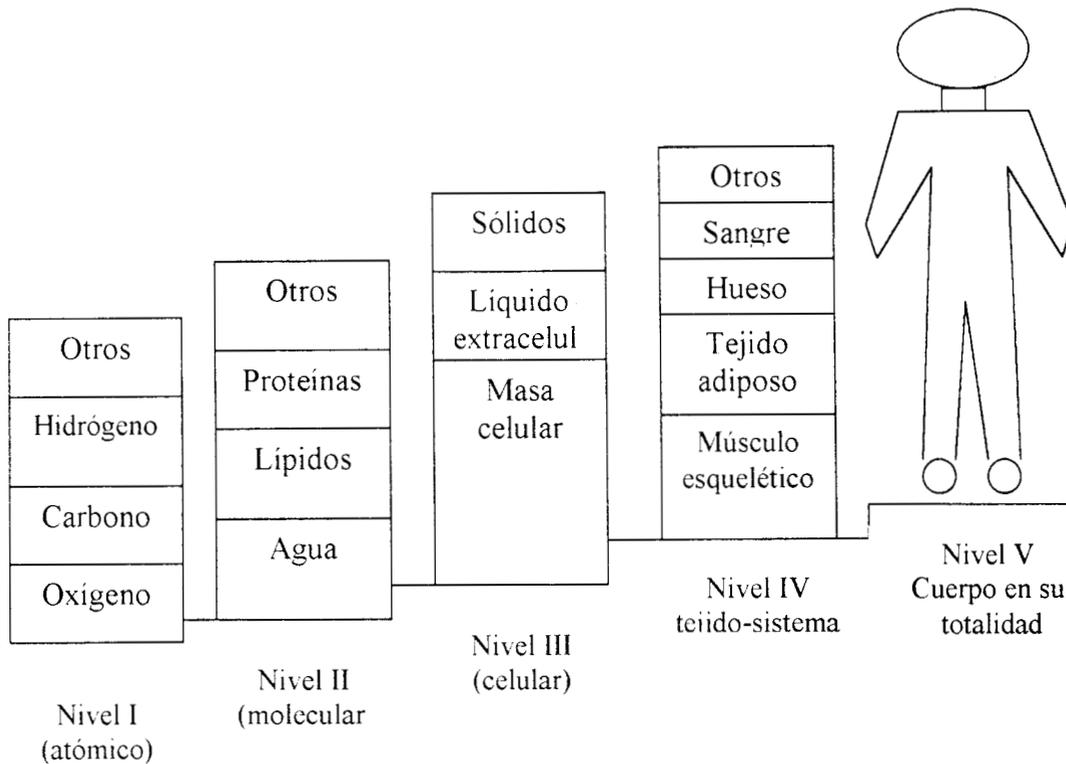


Figura 2: Niveles de composición corporal (Adaptado de "The five level model" Wang Z, Pierson RN Jr 1992)

Aunque existe una asociación significativa entre estos índices y el estado nutrimental en pacientes con desnutrición crónica, la variación de esta asociación es enorme entre los diferentes estudios. Por eso estas mediciones han probado su utilidad para estudios epidemiológicos más que para evaluar el grado de desnutrición en casos individuales [6]. Con base en lo anterior se considera que los índices más dinámicos y fáciles de utilizar como la medición de los cambios en el balance de nitrógeno o la medición de la concentración de proteínas con una vida media plasmática corta, son más útiles para monitorizar a los pacientes con desnutrición aguda y crónica que reciben apoyo metabólico-nutrimental [7]. Aunque la evaluación clínica puede funcionar bien como alguna prueba individual o como banco de pruebas, ninguna técnica en particular es

precisa. Bajo óptimas condiciones el porcentaje de error en el diagnóstico de pacientes con desnutrición puede ser tan alto como el 30 por ciento [7]. Hasta el momento no es claro cuál de las técnicas para la evaluación de desnutrición es más confiable debido a que los estudios comparativos son escasos. Las técnicas de evaluación que se utilizan se basan en su capacidad para predecir el pronóstico clínico de los pacientes. Sin embargo la validez de cualquiera de estas técnicas para medir con certeza el grado de desnutrición no se ha probado, y el efecto del apoyo metabólico-nutricional en el pronóstico de los pacientes catalogados como desnutridos tampoco ha sido consistente [8].

En la mayoría de técnicas, las dificultades más importantes para evaluar el grado de desnutrición, se deben a factores no nutricionales. Por ejemplo, el efecto producido por la administración de soluciones intravenosas o productos sanguíneos, la pérdida de líquidos o proteínas por la diarrea, los tubos entéricos, fístulas u ostomias, la presencia de edema (exceso de líquido en los espacios intersticiales), la fuga capilar posterior a la reanimación; hacen que las mediciones antropométricas y la cuantificación sérica de proteínas no sean útiles, ya que la síntesis de estas últimas varía de acuerdo al grado de expansión del agua corporal total, la función hepática y el efecto de las citocinas. Por eso la evaluación de estos índices en pacientes graves y en estado crítico con sepsis o traumatismo no son confiables [9] [10]. A continuación se describen de forma resumida las pruebas para evaluación del grado de desnutrición en pacientes no críticos.

## **2. Pruebas para la Evaluación del Grado de Desnutrición en Pacientes en un Estado no Crítico.**

### **2.1 Cuantificación del Peso Corporal**

En el caso de una pérdida de masa corporal relacionada con desnutrición proteínico-calórica, se considera como uno de los indicadores del grado de

desnutrición de pacientes graves y en estado no crítico. La pérdida de peso mayor del 10 por ciento del peso ideal (IBW) (del Inglés Ideal Body Weight) en los 2 últimos meses se considera como desnutrición crónica [12]. Por otra parte, en los pacientes graves y en estado crítico la respuesta de fase aguda se asocia con cambios en el contenido de agua corporal total que es directamente proporcional a la severidad del daño. Estos cambios están en relación estrecha con variaciones en el peso corporal [12]. Por ejemplo un aumento temprano en el peso corporal total del 15 al 20 por ciento se asocia principalmente a la expansión del agua extracelular como parte de la respuesta de fase aguda y por la fuga capilar que se presenta durante la reanimación con líquidos. Así el peso medido en pacientes en estado crítico no refleja su peso real, y se considera en la clínica que no es una variable que pueda utilizarse como un indicador del grado de desnutrición.

## **2.2 Mediciones Antropométricas**

La antropometría utiliza mediciones del grosor de los pliegues cutáneos y de la circunferencia de los brazos, con la finalidad de inferir la masa magra y el tejido graso. Las medidas antropométricas son baratas, no invasivas, fáciles de obtener, y pueden ser valiosas cuando se usan en conjunto con otros parámetros clínicos.

Para evaluar la cantidad y proporción de grasa corporal, se cuenta con instrumentos tales como los plicómetros, cuyo fin es medir en milímetros el pániculo adiposo del individuo en estudio. Debido a que es posible medir infinidad de pliegues cutáneos, se han estandarizado cuatro pliegues principales para los que se cuenta con tablas de referencia anglosajonas. Estos son el pliegue cutáneo tricipital, subescapular, bicipital y el suprailíaco. Existen también tablas para determinar el porcentaje de grasa corporal, usando como referencia la suma de los cuatro pliegues y la edad del sujeto.

Para evaluar la cantidad de masa magra, se requiere la medición del pliegue cutáneo tricipital y de la circunferencia del brazo tomada desde el punto medio del mismo. A su vez, existen fórmulas matemáticas y tablas de referencia para determinar qué tanto se relaciona la cantidad de masa muscular del individuo en estudio con una distribución normal de la población [6]. Las ventajas relativas de la antropometría se pierden con la variación inherente al método de medición, la influencia de la edad y el estado de hidratación del paciente [8]. Asimismo las mediciones se comparan con una población de referencia, y no existen referencias para todas las edades o las minorías étnicas lo que las hace no aplicables a todos los pacientes [6]. La antropometría puede detectar cambios significativos en la composición corporal a través de meses o años; sin embargo los cambios a corto plazo del contenido energético almacenado en el tejido graso y de la masa proteínica o magra no se detectan con seguridad. Generalmente la medición del grosor de los pliegues cutáneos como indicador del tejido graso se sobreestima en sujetos con gran musculatura y se subestima en pacientes obesos [6] [13].

### **2.3 Parámetros Bioquímicos**

El laboratorio puede ser un medio útil para realizar una evaluación nutricional completa del paciente con desnutrición crónica. Los datos bioquímicos son alterados por cambios en los procesos metabólicos durante la enfermedad o el estrés, por tal motivo los resultados deben ser evaluados cuidadosamente. Tradicionalmente la medición de la concentración sérica de las proteínas transportadoras, cuya representante es la albúmina y otras proteínas con una vida media corta se han utilizado como marcadores bioquímicos durante la evaluación de los pacientes. Sin embargo los cambios en su concentración son altamente variables y con frecuencia no detectan a pacientes cuyo déficit proteínico y energético es leve o moderado, y tampoco son sensibles para evaluar el efecto del apoyo metabólico nutricional a través de la nutrición enteral o parenteral. Este problema se debe y está determinado de manera directa por

la vida media prolongada de algunas proteínas, por ejemplo la albúmina tiene una vida media de 20 días y sólo el 40 por ciento es intravascular [14]. Otras proteínas cuya vida media es más corta, como la prealbúmina o la proteína que une retinol se afectan por el estado de hidratación, la disminución de la función hepática o renal [15], por estas características no son útiles en la evaluación de pacientes graves y en estado crítico.

Recientemente se valora la utilidad del factor de crecimiento similar a insulina tipo 1 (IGF 1) y de la leptina [16]. Entre las proteínas que se pueden utilizar en la evaluación nutricional se encuentran:

- Albúmina Sérica (vida media de 14-20 días).
  - Transferina Sérica (vida media de 8-10 días).
  - TBPA = Prealbúmina (vida media de 2 días).
  - EBP - Proteína fijadora de retinol (vida media de 10-12 horas).
  - Capacidad total de fijación de hierro. También se toman en cuenta la hemoglobina y el hematocrito para detectar problemas de deficiencia crónica de hierro.
  - Factor de Crecimiento tipo I (IGF-1) similar a insulina (vida media de 5 horas).
- 
- *Pruebas Urinarias:* Se determina el nitrógeno total excretado en orina de 24 horas con el fin de obtener un balance de nitrógeno y poder detectar si existe catabolismo muscular, se debe conocer la ingestión nitrógeno (proteína) [14]. Además mediante la medición de creatinina en orina de 24 horas, es posible medir el índice talla-creatinina para el que existen tablas con los valores estándar de acuerdo a la estatura del sujeto. Este índice calcula indirectamente la masa muscular esquelética. Dentro de los factores que influyen en la excreción de creatinina, se encuentran: la edad, dieta, el ejercicio, el nivel de estrés y la función renal; estos factores dificultan la

interpretación de éste índice, el cual a su vez debe ser estandarizado para la aplicación en la población a evaluar [17].

- *Pruebas Inmunológicas:* Debido a que es bien conocido el hecho de que durante la desnutrición disminuye notablemente la respuesta inmune, otro método para evaluar el grado de desnutrición es la cuantificación de la cantidad de linfocitos totales. Este puede ser un indicador pronóstico de sepsis, es fácil de realizar y no es una prueba costosa.
- *Pruebas de Sensibilidad Cutánea:* Para realizar las pruebas de sensibilidad cutánea se utilizan antígenos que se aplican vía intradérmica. Se utilizan comúnmente los antígenos de *Candida*, derivado de proteína purificada (PPD), estreptoquinasa, y estreptodornasa. Después de aplicarse, se mide el diámetro de la induración a las 24 y 48 horas, y si ésta resulta mayor de 5 milímetros se considera una respuesta positiva, de lo contrario, el sujeto se considera anérgico [14].

## **2.4 Evaluación Subjetiva Global**

La evaluación subjetiva global (ESG) está basada en la historia clínica y la exploración física. La primera toma en cuenta tanto las enfermedades asociadas, los medicamentos aplicados al paciente y los cambios de peso. La segunda permite establecer el diagnóstico de desnutrición energético-proteínica. Con los resultados se clasifica al paciente en desnutrición leve, moderada o grave. Esta técnica es reproducible y los resultados correlacionan con las medidas objetivas, como mediciones bioquímicas y antropométricas [13].

La persona que realiza esta evaluación debe elegir en dar mayor importancia a la pérdida de peso, a la escasa ingestión alimentaria, pérdida de tejido graso y muscular. Debe estar adiestrada para poder detectar estos cambios y realizar la observación de manera consistente.

Se ha observado que la ESG puede predecir el desarrollo de infecciones de manera más exacta que otros métodos como la albúmina, tranferina y el índice talla-creatinina. Sin embargo, es más útil para la evaluación inicial que para el seguimiento o monitoreo del paciente.

## 2.5 Índices Pronósticos

Se han hechos varios intentos para correlacionar el grado de desnutrición de un paciente con la morbimortalidad del mismo. El más conocido es el índice pronóstico nutricio (IPN), desarrollado por Mullen y Buzby en 1979 [18], se basó en el estudio de 1,500 pacientes que ingresaron al hospital para someterse a cirugía electiva. Se utilizó un análisis discriminativo para ver qué mediciones se correlacionaban mejor con la evolución quirúrgica. Se determinó el riesgo de presentar complicaciones por medio de la ecuación 2:

$$\text{IPN}(\%) = 158 - (16.69 \times A) - (0.78 \times \text{PCT}) - (0.2 \times \text{Tranf}) - (5.8 \times \text{DHC})$$

*Ecuación 2: (A= Albúmina Sérica, PCT= Pliegue Cutáneo Tricipital, DHC= Pruebas de sensibilidad cutánea tardía (0; (no reactiva), 1; < 5mm, 2; > 5 mm))*

El resultado de esta ecuación se expresa en forma de porcentaje, en donde una cifra menor del 40 por ciento indica bajo riesgo de presentar complicaciones, de 40-50 por ciento indica riesgo intermedio y más de 50 por ciento indica alto riesgo.

Existen a su vez otros índices que tienen el mismo objetivo, se aplican a pacientes en estado crítico, mediante mediciones de laboratorio. El índice pronóstico hospitalario (IPH), está basado en la albúmina sérica, pruebas de sensibilidad cutánea, estado clínico (séptico o no séptico) y la presencia o ausencia de cáncer. La ecuación 3 discriminante desarrollada fue:

$$\text{IPH} = (0.90 \times \text{Alb}) - (1.00 \times \text{DCH}) - (1.44 \times \text{sep}) + (0.98 \times \text{Dx}) - 1.09$$

*Ecuación 3: (Alb= albúmina en g/dl, DCH= sensibilidad cutánea (1 es respuesta positiva a uno o más antígenos y 2 es respuesta negativa), sep= sepsis (1: presente, 2: no presente), Dx= diagnóstico (1: cáncer, 2 no cáncer)).*

La albúmina sérica por sí misma es un predictor de mortalidad, anergia y sepsis. Una albúmina inicial de menos de 2.2 g/dl se asocia con un 75 por ciento de probabilidad de presentar sepsis, anergia y muerte durante la hospitalización [14] [15].

Otro índice práctico y fácil de obtener es el Índice de Masa Corporal (IMC), definido como peso ( kg ) / talla<sup>2</sup> ( m ). Este índice describe el peso relativo para la talla de una persona, los estudios epidemiológicos han demostrado una correlación significativa con la grasa corporal total de un sujeto. Pacientes con un IMC < 17.5 kg/m<sup>2</sup> se consideran con desnutrición energético-proteínica, con 25.5 kg/m<sup>2</sup> o más se consideran con sobrepeso y si el IMC > 30 kg/m<sup>2</sup> se consideran obesos [6]

Por lo anterior el grado de desnutrición tiene una influencia directa sobre la evolución de la enfermedad, por esto, el conocimiento de la composición corporal del individuo y el monitoreo de su estado clínico son una herramienta importante en el cuidado de pacientes graves y en estado crítico.

Actualmente están en evaluación otros métodos de evaluación nutricional como son: resonancia magnética, conductancia corporal e impedancia y activación de neutrones [18]. Existen pocos estudios que evalúen su utilidad y eficiencia en pacientes de la UCI. En general existen múltiples pruebas y combinaciones de pruebas para la evaluación. Algunas de las pruebas pueden ser útiles, si se tiene en cuenta sus limitaciones. Aunque no existen estudios en pacientes internados en la UCI y en pacientes hospitalizados, se sugiere que la evaluación clínica, incluyendo la pérdida de peso (> 10% del IBW), como un indicador de

desnutrición es tan confiable como cualquiera de las pruebas complejas de evaluación [19].

### **3. Metas y Principios Generales del Apoyo Nutricional en Pacientes Graves y en Estado Crítico.**

El consenso para el apoyo nutricional de pacientes graves y en estado crítico internados en la UCI propone alcanzar metas generales: (1) El apoyo nutricional debe ser consistente con la condición clínica del paciente, grado de desnutrición y con la vía disponible para la administración de nutrientes; (2) Debe prevenir y tratar las deficiencias de macronutrientes y micronutrientes; (3) Suministrar la cantidad de nutrientes que sean compatibles con el metabolismo del paciente en ese momento; (4) Evitar las complicaciones relacionadas con la vía de administración de nutrientes; (5) Mejorar la recuperación del paciente, en especial aquellos aspectos relacionados con la morbimortalidad de la enfermedad, la composición corporal del paciente, la reparación tisular, y la función orgánica.

### **4. Principios Generales del Apoyo Nutricional**

Las consideraciones generales, pueden ser modificadas de acuerdo con la enfermedad (es).

#### **4.1 Macronutrientes**

##### **4.1.1 Calorías Totales**

La masa celular existente es el mejor determinante del requerimiento energético total. El requerimiento energético puede ser calculado o medido directamente. La sobrecarga calórica debe evitarse, pero pueden administrarse una cantidad extra de calorías para promover funciones específicas. Se administran como regla general 25 kilocalorías por kilogramo de peso por día, que es lo recomendable al inicio del apoyo nutricional para la mayoría de pacientes, pero

puede oscilar de 25 a 35 kcal [18]. Las calorías totales pueden administrarse en un volumen consistente con las necesidades de líquidos para cada paciente. En general se administra 1 ml de agua por cada kilocaloría.

#### **4.1.2 Glucosa**

Del 60 al 70 por ciento de las calorías totales que se administran por día, se proporcionan como glucosa, sin sobrepasar 5 g de glucosa por kilogramo de peso por día. Esta cantidad se ajusta para mantener el nivel de glucemia <225 mg/dl, si es necesario se administra insulina regular para alcanzar este nivel de glucemia [18].

#### **4.1.3 Grasas**

Del 30 al 40 por ciento del total de calorías totales se administran como lípidos [18]. Los triglicéridos de ácidos grasos polinsaturados Omega-6, se proporcionan en dosis adecuadas para prevenir la deficiencia de ácidos grasos esenciales al menos en un 7 por ciento del total de calorías. Los triglicéridos de cadena mediana se deben utilizar como fuente de calorías. La relación de la administración entre triglicéridos de cadena mediana y triglicéridos de cadena larga, depende de la vía de administración y de su disponibilidad.

#### **4.1.4 Fuentes de Proteína**

Las calorías totales derivadas de las proteínas no se incluyen dentro del cálculo energético [18]. La relación caloría / nitrógeno es independiente para la elección de la fuente proteínica. Puede iniciarse con 1.2 a 2.0 g / kg / día y ajustarse con monitoreo de la concentración de nitrógeno ureico en sangre, el balance de nitrógeno y de la función de síntesis de proteínas. Dentro de las consideraciones para disminuir el aporte de proteínas debe tomarse en cuenta los niveles de nitrógeno ureico en sangre (del inglés Blood Urinary Nitrogen (BUN)), no debe

ser > 100 mg/dl. En los pacientes con disfunción hepática debe vigilarse la concentración sérica de amonio, ya que su elevación se asocia con encefalopatía hepática.

#### 4.2 Micronutrientos

Los requerimientos exactos de micronutrientos y elementos traza (oligoelementos) aún no se han establecido. La concentración de vitaminas, minerales y el potasio, magnesio, zinc y fosfato se proporcionan en una cantidad adecuada para mantener niveles séricos normales. En la tabla 1 se muestran los valores normales [18] [19].

Vitaminas	Unidad	Normal	Deficiencia
Retinol	µg / dL	10 -100	< 10
25- Hydroxy D	µg / dL	0.8 – 5.5	< 0.7
1.25-Dihydroxy D	µg / dL	2.6 – 6.5	
α-Tocopherol	µg / dL	7.0 – 20.0	< 5
Tiamina Sérica	µg / dL	2.5 – 7.5	< 1.7
Tiamina Ureica	µg / g creatinina	> 66	< 27
Riboflavina Sérica	µg / dL	10 -50	< 10
Riboflavina Ureica	µg / g creatinina	>79	< 27
Vitamina B6 Plasmática	µg / dL	> 5.0	< 2.5
Vitamina B6 Ureica	µg / g creatinina	> 20	< 20
Niacina Sérica	µg / dL	300 - 600	< 300
N1- Metilnicotinamida Ureica	µg / dL	2.2 – 9.4	< 0.5
Ácido Ascórbico	µg / dL	0.4 – 1.5	< 0.3
Biotina Plasmática	ng / dL	30 - 74	
Biotina Ureica	µg / dL	6 - 50	< 6
Carotenoides	µg / dL	80 - 400	
Vitamina B12	pg / mL	205 - 867	< 140
Acido Fólico	ng / mL	3.3 - 20	< 2.5

Tabla 1: Valores Normales de Vitaminas en Sangre y Orina

## **4.3 Vía de Administración**

### **4.3.1 Vía Enteral**

Es la vía preferida para la administración de nutrientes. La utilidad de la Nutrición Enteral (NE) se ha confirmado con diversos estudios clínicos que han demostrado la preservación de la integridad intestinal, de las funciones de barrera inmune y de las complicaciones infecciosas. Es recomendable iniciar NE si no existe contraindicación, tan pronto como sea posible y después de alcanzar la estabilidad hemodinámica del paciente. La alimentación intragástrica requiere de una adecuada motilidad. En general si el residuo gástrico es  $> 150$  ml se requiere ajustar la velocidad de administración, o cambiar las características del tipo de nutrición. En pacientes en estado crítico debe preferirse la alimentación en intestino delgado. La alimentación enteral puede indicarse aun cuando el paciente no presente ruidos peristálticos audibles.

En forma concomitante se debe realizar descompresión gástrica por medio de una sonda. El efecto que producen ciertos agentes procinéticos como cisaprida y eritromicina que favorecen la motilidad gástrica e intestinal ha sido variable [18]. La presencia de ruidos intestinales, el paso de gases o evacuaciones, no es una condición necesaria para el inicio de NE, particularmente cuando se administra distal al píloro. En presencia de distensión abdominal debe suspenderse la administración de la nutrición y evaluar nuevamente las condiciones clínicas del paciente.

La diarrea puede presentarse con la administración de la NE. En forma general no es una indicación para suspender la NE. Si esta excede 1000 ml/día es necesario suspenderla y valorar al paciente. Si no se encuentra ninguna causa médica o quirúrgica asociada, incluyendo enterocolitis, se puede iniciar antidiarreicos.

### **4.3.2 Vía Parenteral**

La administración de nutrimentos por vía parenteral, se recomienda cuando la vía enteral no es accesible o no es útil o como complemento a la nutrición enteral si la administración de nutrimentos por vía enteral no es suficiente. El uso de la vía parenteral está asociada con un incremento en la incidencia de infecciones, en la línea de acceso para la administración de la nutrición y un aumento significativo en los costos. Las fórmulas parenterales no son tan completas desde el punto de vista nutrimental como las fórmulas enterales. No obstante las metas se alcanzan más rápido por la vía parenteral.

Si se sigue un protocolo estricto en la colocación del catéter de Nutrición Parenteral Total (NPT) se reducen las complicaciones asociadas, particularmente las relacionadas con el cuidado de la línea central de administración de la nutrición. Las líneas centrales deben ser colocadas y vigiladas con estrictas técnicas antisépticas y usadas por tiempo limitado. Las líneas subcutáneas no son recomendables en pacientes de la UCI [17] [18].

### **4.4 Monitoreo**

El monitoreo de los parámetros clínicos es esencial para minimizar las complicaciones y maximizar los beneficios del apoyo nutrimental [18].

#### **4.4.1 Evitar la sobrealimentación**

- Basarse en guías generales para la prescripción nutrimental.
- No es necesario utilizar las guías si se cuenta con análisis de gases respirados (calorimetría indirecta); un cociente respiratorio (RQ), definido éste como la relación producción de bióxido de carbono ( $VCO_2$ ) / consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), si es  $>1$  generalmente indica sobrealimentación; cuando el RQ se incrementa de 0.8 a 1.0 se aumenta la producción de  $CO_2$ .

- Una reducción en las reservas de calorías totales como glucosa y grasa, disminuye la VCO<sub>2</sub>, es benéfico para el paciente con nutrición parenteral (NPT) que presenta insuficiencia respiratoria.

#### **4.4.2 Promover retención de nitrógeno y evitar una sobrecarga de proteínas**

- Es útil la evaluación periódica del balance de nitrógeno para el ajuste de la cantidad de proteína (aminoácidos) que se administran. Son útiles para este propósito las mediciones cada 5 a 7 días del nitrógeno urinario total excretado en orina de 24 horas.
- Se debe reducir el aporte de nitrógeno si se presenta azotemia pre-renal con la administración de las proteínas (aminoácidos). Los niveles de BUN deben mantenerse en  $\leq 100$  mg/ dl.
- Las fórmulas especiales para los pacientes con insuficiencia renal aguda (concentraciones de creatinina sérica al doble del valor normal) hasta ahora no han demostrado que influyan en una mejor recuperación del paciente.
- En pacientes con insuficiencia renal se debe considerar la terapia dialítica antes de iniciar el apoyo nutricional.

#### **4.4.3 Se recomienda monitorizar la concentración sérica de triglicéridos.**

- No se deben permitir concentraciones elevadas de triglicéridos, debe mantenerse una concentración de triglicéridos  $\leq 500$  mg/dl durante la administración de la nutrición.

**4.4.4 Monitorizar semanalmente los niveles de proteína viscerales en plasma es útil (transferina o prealbúmina). Sin embargo en la UCI, los niveles no son indicativos de la respuesta a la nutrición y parece no estar bien correlacionado con la recuperación del paciente. La medición del nivel de albúmina sérica no es útil en la evaluación de la respuesta al apoyo nutricional de pacientes graves y en estado crítico.**

**4.4.5** Monitorizar el balance hidro-electrolítico, particularmente para Potasio, Fósforo, Magnesio, Calcio y Zinc. Se sugiere mantener los niveles séricos dentro de valores normales.

**4.4.6** Niveles de Vitaminas y Oligoelementos

- Monitorizarlos en casos específicos, aunque su medición rutinaria no se ha establecido.

**4.4.7** Evaluar semanalmente la función hepática por medio de pruebas de laboratorio. La anormalidad de las pruebas no necesariamente es un indicador de los efectos deletéreos de la nutrición sobre el hígado. En algunos casos se pueden utilizar aminoácidos de cadena mediana diseñados para falla hepática.

La terapia nutricional ha evolucionado desde el simple suministro de los nutrientes necesarios, hasta brindar un apoyo que pueda modificar la respuesta al estrés y mejorar los resultados. Con la nutrición enteral total (NET) todos los nutrientes se administran mediante una sonda en forma directa al tracto gastrointestinal. Lo que empezó en el siglo pasado con la alimentación rectal de vino, leche, "caldo" y brandy, ha evolucionado a una terapia médica compleja para enfermedades críticas y crónicas [20].

En la actualidad el papel que juega el soporte metabólico y la terapia nutricional en la atención del paciente se encuentra bien documentado en la literatura médica [21]. Aunque es una sub-especialidad, relativamente nueva, esta terapia se ha convertido en parte integral de la atención a todos los pacientes, en especial aquellos que se encuentran en estado crítico con desnutrición, o en ambas condiciones.

Los efectos que produce la desnutrición en los pacientes se han demostrado en forma dramática en estudios de morbi-mortalidad. Un estudio en individuos con

cáncer colorectal, sometidos a cirugía abdominal, encontró una morbilidad de 52 por ciento y una mortalidad de 12 por ciento significativamente mayores entre pacientes desnutridos que entre los normales, que solo presentaron un 31 por ciento de morbilidad y 6 por ciento de mortalidad [22].

Las manifestaciones específicas de la desnutrición también se han asociado con tasas más elevadas de mortalidad. En un estudio a gran escala que incluyó más de 4,380 adultos sometidos a una amplia variedad de cirugías de tipo electivo, quienes experimentaron una pérdida absoluta de peso de más de 5 Kilogramos, se observó una mortalidad 19 veces mayor [23].

En el postoperatorio los niveles bajos de albúmina sérica, secundarios a la desnutrición crónica, también se han relacionado con mayores tasas de mortalidad. Seltzer en 1979 encontró que en el postoperatorio los pacientes con niveles séricos de albúmina, inferiores a 2,5 g/dL, presentaron tasas de mortalidad seis veces mayores que quienes tenían niveles superiores a esa cifra [24].

En otro estudio se reportó que los pacientes sometidos a cirugía en la UCI, con niveles bajos de albúmina y con un recuento total de linfocitos, mostraron una tasa de mortalidad 4.5 veces mayor que la de pacientes bajo cuidado intensivo con albúmina y recuento de linfocitos normal [25].

Además de la incidencia en la morbilidad y la mortalidad asociados con la desnutrición, el aumento del Gasto Energético en Reposo (GER) es severo en pacientes que han sufrido algún tipo de traumatismo. A comienzos de los años sesenta, Kinney inició la investigación sobre los cambios específicos del GER asociados con lesiones graves y la pérdida de peso. Durante 20 años de investigación, Kinney y sus colaboradores demostraron que los cambios del GER son frecuentemente menos severos de lo esperado [26]. Por ejemplo, encontró que la cirugía mayor producía incrementos diferentes del GER los

cuales sólo llegaban a un 10 por ciento; algunos pacientes no mostraban aumento. Aquellos con fracturas múltiples presentaban incrementos del GER que variaba entre el 10 y 25 por ciento y que duraba dos a tres semanas de duración. La fiebre por la bacteremia producía aumentos del GER equivalentes aproximadamente al 13 por ciento por cada grado centígrado por encima de la temperatura corporal normal. En infecciones que implican una respuesta inflamatoria extensa (peritonitis aguda o empiema), se han notado aumentos mayores en el GER, los cuales exceden el 50 por ciento. Los incrementos más importantes se ven en los pacientes quemados, sin embargo, la mejoría en el manejo de las quemaduras ha reducido el incremento del GER, que se reduce del rango de 40 por ciento-100 por ciento al de 20 a 40 por ciento.

Los médicos a través de su experiencia en el apoyo nutricional observaron la estrecha relación entre la nutrición enteral y la fisiología gastrointestinal cuando observaron que los pacientes alimentados solamente con Nutrición Parenteral Total (NPT) desarrollaban atrofia de la mucosa intestinal y una reducida capacidad para limitar la traslocación de las bacterias patógenas entéricas [27][28]. A medida que los científicos empezaron a explorar la relación entre los sustratos dentro del Tracto Gastrointestinal (TGI) y la fisiología gastrointestinal, hizo evidente que la presencia del sustrato dentro del TGI es necesaria para mantener las funciones primarias del TGI como la de absorción, barrera e inmune [29][30]. Se hizo evidente también que el TGI es un órgano complejo que influye de manera notable en la homeostasis metabólica, además de que media la respuesta al trauma y al estrés [27][31].

## **5. SISTEMAS ESPECIALISTAS**

La computadora puede ser utilizada para proporcionar la asistencia directa o indirecta en el proceso de toma de decisiones a través del desarrollo de programas específicos, denominados sistemas especialistas o sistemas expertos (SE) [32].

De manera simple, Widman los definió como "los programas de computador capaces de analizar datos de una manera similar a los que realiza un ser humano, por lo que serían considerados como inteligentes" [34]. Los sistemas especialistas son útiles de dos formas diferentes:

- a) *Apoyo en la Toma de Decisiones*: El programa ayuda al usuario con o sin experiencia a tomar decisiones y a recordar diferentes aspectos, que por alguna razón han sido olvidados o ignorados al momento de tomar una decisión. Esta es la forma más común que se utiliza en medicina.
- b) *Toma de Decisiones*: El programa toma decisiones en lugar de una persona; lo cual indica que el programa debe estar por encima del nivel de adiestramiento y experiencia del especialista. Este uso es el más común en sistemas industriales y financieros, aunque también se puede utilizar en medicina, no se recomienda porque viola códigos de ética profesional con relación al paciente.

## **5.1 Estructura de un Sistema Especialista**

La estructura de un SE, se muestra en forma esquemática en la figura 3; esta compuesta de forma básica por tres partes o módulos: una base de conocimiento, interfaces de comunicación y un mecanismo de inferencia [33], [34].

**5.1.1 Base de Conocimiento:** Es una estructura de datos en donde se almacena el conocimiento especializado para que pueda ser utilizado en la toma de decisiones por el SE.

**5.1.2 Interfases de Comunicación:** Son módulos de comunicación entre el SE y los usuarios finales. Se dividen en interfase de adquisición e interfase de usuario. La interfase de adquisición permite modificar y adicionar conocimiento a la base de conocimientos. La interfase de usuario tiene por objeto establecer la comunicación entre el usuario y el sistema.

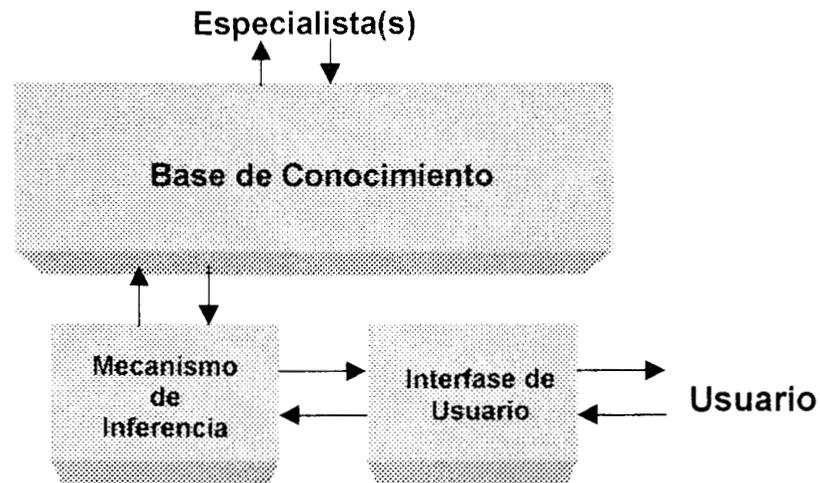


Figura 3: Estructura de un SE.

**5.1.3 Mecanismo de Inferencia (máquina de inferencia o motor de inferencia):** Es un algoritmo capaz de generar conclusiones a partir de datos proporcionados por el usuario del sistema o por el conocimiento almacenado en la base de conocimiento. Un mecanismo de inferencia integra diferentes funciones. Es capaz de recibir datos, tanto del usuario como de la base de conocimiento, con estos establece metas de decisión y elabora conclusiones basadas en alguna forma de razonamiento automático. La confiabilidad de las recomendaciones proporcionadas por un SE, está fuertemente relacionada con la calidad de la información almacenada en la base de conocimiento.

## 5.2 Tipos de Sistemas Especialistas

De acuerdo a la manera como se representa el conocimiento en la base de conocimiento y por consiguiente la forma como funciona el mecanismo de inferencia, existen diferentes tipos de SE; estos son:

**5.2.1 Basados en Reglas de Producción:** La representación del conocimiento se realiza a partir de asociaciones entre conceptos. Un ejemplo de una regla de producción es "si el Sodio sérico > 145mEq/L, **entonces** se debe considerar el diagnóstico de "Hipernatremia". Normalmente las reglas no

definen relaciones causa-efecto. Un mecanismo de inferencia utiliza las reglas que son verdaderas para cada caso y puede combinar varias reglas para llegar a una decisión con un alto grado de probabilidad.

**5.2.2 Basados en Modelos de Causa-Efecto:** La base de conocimiento específica asociaciones de tipo "un descenso en la presión arterial causa aumento en el tono simpático". El mecanismo de inferencia utiliza cadenas de relaciones causales para llegar a una decisión.

**5.2.3 Basados en Redes Semánticas:** La base de conocimiento se estructura con base en las relaciones de los objetos. Los nodos de una red semántica corresponden a los objetos y los arcos describen las relaciones entre los objetos. Así puede tomarse un arco con sus dos nodos como una sola unidad de conocimiento [36].

**5.2.4 Basados en "Frames" (Marcos):** La base de conocimiento se estructura utilizando "frames". Un "frame" es una estructura de datos que sirve para representar una situación estereotipada, como por ejemplo estar en consulta con el médico. Un frame es, por lo tanto, la división de objetos, o también de situaciones, en sus componentes [36].

**5.2.5 Basados en Casos:** Se conocen también como Sistemas de Razonamiento Basado en Casos (RBC). Están fundamentados sobre la idea de que el conocimiento del especialista puede ser representado en forma de casos. La base de conocimiento de estos sistemas esta formada por casos, los cuales integran información, como por ejemplo, síntomas, signos vitales, datos de laboratorio, diagnóstico y tratamientos utilizados. El mecanismo de inferencia utiliza razonamiento analógico para recuperar los casos similares al problema actual.

### **5.3 Qué es un Caso?**

Un caso representa una situación en un área específica del conocimiento. Este registra dos tipos de información: Hechos que describen una situación particular y un conjunto de deducciones o interpretaciones aplicables a estos hechos [38]. El grado de complejidad y generalidad de un caso es variable. Pueden ser una recopilación de hechos coherentes acerca de una situación o problema. De esta forma su reutilización se reduce a algunas variaciones en los hechos. Otros casos más complejos no recopilan únicamente hechos, sino propiedades (atributos) y explicaciones acerca de las mismas; estos casos son más generales y su grado de generalidad está al nivel de las características recopiladas. Una base de casos debe ser constituida de manera que permita llevar a cabo un razonamiento eficiente sobre los hechos y las propiedades.

Los casos pertenecen a diferentes clases y cada clase está constituida por diversos atributos. Las clases describen los objetos del dominio de un problema sobre los que el SE debe acumular informaciones y extraer conclusiones. Los atributos representan las informaciones que consigue un SE durante la consulta al usuario (preguntas), por la aplicación de reglas de producción o por el manejo de casos. Para definir un atributo debe indicarse su nombre, los nombres de las clases para las que es válido, y una restricción para los valores que puede tomar. Los valores que pueden tomar los atributos son de tipo entero, real, texto, nombre, numérico (por ejemplo: fecha, edad), booleanos (por ejemplo "Alteración de Líquidos" - sí o no).

### **5.4 Fundamentos de los Sistemas Especialistas Basados en Casos**

Los Sistemas Especialistas Basados en Casos (SEBC) se fundamentan en los siguientes principios [38]:

- Es posible solucionar nuevos problemas o analizar nuevas situaciones por analogía con experiencias previas, sólo si existe suficiente similaridad.
- El razonamiento consiste en recuperar casos similares y adaptar las soluciones de casos pasados al problema actual.
- El razonamiento evalúa la relevancia y eficiencia del conocimiento adquirido y permite la integración de nuevo conocimiento.
- Las explicaciones dadas por el especialista para un caso en particular afectan las similitudes y adaptaciones realizadas por el sistema.

#### **5.4.1 Ventajas de los SEBC**

Las ventajas que ofrecen los SEBC respecto a otros tipos de SE [37] son:

- Su implementación se reduce a identificar las características o atributos que describen un caso, a diferencia de los SE que utilizan técnicas complejas para la adquisición del conocimiento del especialista como entrevistas, cuestionarios, etc.
- Aplica técnicas obtenidas de bases de datos para generar bases de casos, con esto se pueden manejar grandes volúmenes de información en forma de casos. Algunos SE, como por ejemplo los basados en reglas de producción, son lentos en su operación cuando manejan grandes volúmenes de información.
- Estos sistemas aprenden mediante la adquisición de nuevo conocimiento proveniente directamente del especialista en forma de casos. Aun si éste no tiene conocimientos de lenguajes de programación o del desarrollo de SE, puede modificar la base de conocimiento. Otros SE como los basados en reglas de producción, son difíciles de mantener debido a que la información del especialista no puede ser representada directamente, sino a través del criterio del "Ingeniero de Conocimiento" encargado del proceso de adquisición y representación de conocimiento conocido como elicitación.
- El mantenimiento de un SEBC es fácil y rápido debido a que es realizado por el mismo especialista; quien no necesita representar su conocimiento

mediante reglas, sino simplemente prueba y modifica los datos hasta lograr resultados satisfactorios.

## **5.5 Estructura de un SEBC**

Los SEBC son sistemas basados en conocimiento, cuyos ciclos de trabajo comprenden tres etapas: Indexación, Recuperación y Adaptación [38]. Estas mismas tres etapas constituyen un ciclo de RBC. La base de conocimiento se construye con base en una serie de casos; la cual se puede modificar. El problema a resolver se describe en el lenguaje de representación de conocimiento del sistema y es complementado con el conocimiento del especialista dentro de su área específica de conocimiento. La etapa de indexación forma parte del desarrollo de la base de conocimiento y las etapas de Recuperación y Adaptación conforman el mecanismo de Inferencia del sistema [62].

La figura 4, muestra un ciclo de RBC realizado por el SEBC. En esta figura se muestra la base de casos, constituida por casos que contienen la descripción de una situación y su correspondiente solución y explicación. A cada caso se le asigna un índice (Indexación) para poderlos recuperar de la base de casos. Cuando entra un nuevo problema al SEBC, éste busca en la base de casos los casos similares (Recuperación) a la nueva situación y posteriormente adapta la solución del caso recuperado (adaptación). La adaptación considera la diferencia en los valores de los atributos entre el nuevo problema y el caso recuperado, para generar una nueva solución es decir el usuario utiliza la información para tomar una decisión.

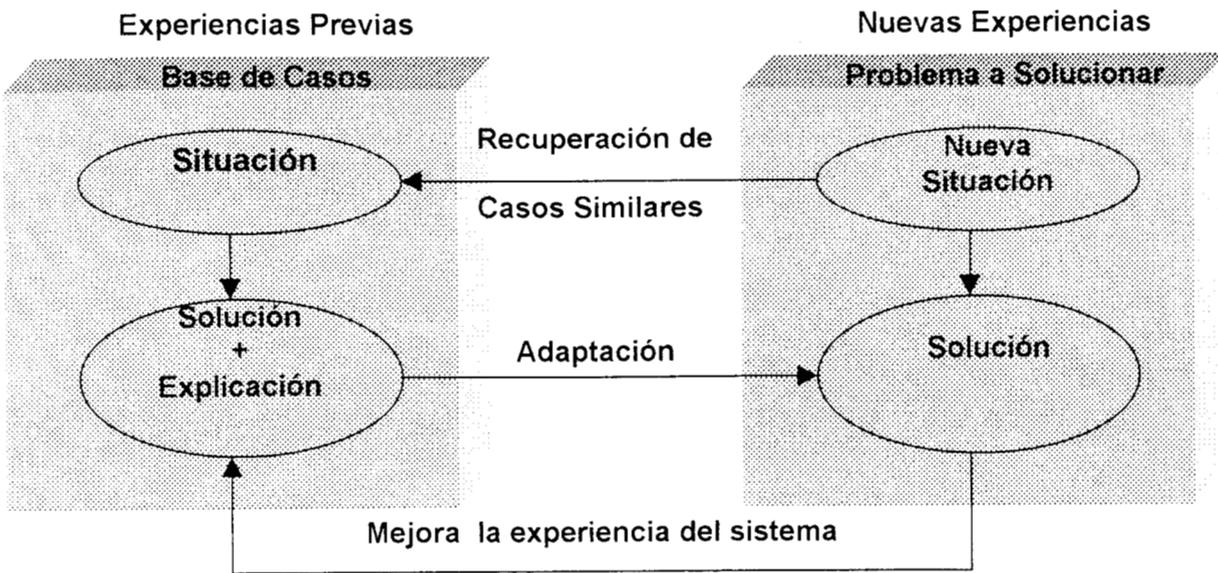


Figura 4: Ciclo de trabajo de un SEBC

Además permite que nuevos casos sean adicionados a la base de casos mediante el editor de casos del "ReCall", para mejorar la experiencia del sistema.

### 5.5.1 Indexación

La etapa de indexación de la base de casos consiste en la asignación de índices que permiten la recuperación de casos similares al problema de una manera fácil y rápida. Esta etapa se realiza durante el desarrollo de la base de conocimiento y tiene por objetivo llevar a cabo una adecuada preselección de casos y una organización en memoria que facilite el proceso de recuperación. Existen métodos manuales y automáticos para seleccionar los índices adecuados. El método manual involucra el criterio del especialista respecto a su área de conocimiento. Los métodos automáticos incluyen métodos de indexación de casos por atributos o características que tienden a predecir los casos que darían solución a un nuevo problema [62], métodos de selección de índices basados en las diferencias entre el nuevo caso y los casos recuperados, métodos de aprendizaje inductivo [40]; los cuales identifican los atributos más

relevantes en el proceso de solución de un caso mediante la inducción por reglas (utilización del algoritmo **ID3**), para ser utilizados como índices y los métodos basados en explicación; los cuales determinan los índices con base en las características o atributos relevantes para cada caso.

Los métodos de aprendizaje inductivo generalmente utilizan el algoritmo **ID3** formulado por Quinlan [40] para generar un árbol de decisión que permita identificar los atributos de mayor relevancia en el proceso de solución de un nuevo caso, bajo las siguiente premisas:

- Cada *nodo* corresponde a un atributo y cada *rama* al valor posible de ese atributo. Una *hoja* del árbol especifica el valor esperado de la decisión de acuerdo con los ejemplos dados. La explicación de una determinada decisión viene dada por la trayectoria desde la *raíz* a la *hoja* representativa de esa decisión.
- A cada *nodo* es asociado aquel atributo más informativo que aún no haya sido considerado en la trayectoria desde la *raíz*.

Un árbol de decisión es una representación gráfica de la jerarquía de un conjunto de reglas que describen la manera de evaluar o clasificar un objeto de interés basado en las respuestas a una serie de preguntas. Un árbol de decisión puede codificar por ejemplo la secuencia de las pruebas que un médico realiza para diagnosticar a un paciente.

### **5.5.2. Recuperación**

La etapa de recuperación utiliza los índices obtenidos en la indexación de la base de casos, para recuperar los casos más similares al nuevo caso. El algoritmo de recuperación centra su búsqueda en los índices y en la organización de memoria de casos para recuperar los casos potencialmente útiles. Se han implementado diferentes algoritmos para la recuperación de

casos, como los de Búsqueda Serial [39], Búsqueda Jerárquica [40] y Búsqueda Paralela Simulada [41]. De la eficiencia de estos algoritmos depende que el sistema pueda manejar grandes bases de casos.

Dentro de los métodos de recuperación de casos más conocidos se encuentran: El Vecino Más Cercano (se conoce en inglés como “**Nearest Neighbour**”), por Inducción, Inducción Guiada por Conocimiento y Recuperación Supervisada. Estos métodos son utilizados solos o combinados dentro de estrategias de recuperación híbridas.

El método de recuperación utiliza el algoritmo “**Nearest Neighbour**” para evaluar la similitud de cada característica o atributo del nuevo caso con la correspondiente característica del caso recuperado. El valor de similitud es calculado y expresado en porcentajes, tomando en cuenta la importancia (peso del atributo) asignado a cada característica. A cada atributo se le asigna una dimensión y un grado de importancia (peso). El valor de similitud es calculado mediante la suma de los productos del peso de cada atributo por el valor de similitud de los valores de los atributos. Para normalizar los valores, se dividen entre la suma de los pesos de los atributos.

La ecuación 4, muestra la función utilizada por el algoritmo “**Nearest Neighbour**”, en donde  $w_i$  es el peso del atributo  $i$ ,  $sim$  es la función de similitud y  $f_i^I$  y  $f_i^R$  son los valores para el atributo  $f_i$  en el nuevo caso y los casos recuperados respectivamente. Una vez calculados los porcentajes de similitud, el algoritmo ordena los casos de mayor a menor porcentaje de similitud [37] [62].

$$\text{Valor de Similitud} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times \text{sim}(f_i^I, f_i^R)}{\sum_{i=1}^n w_i} \times 100\%$$

Ecuación 4: Función utilizada por el algoritmo “**Nearest Neighbour**”

### 5.5.3. Adaptación

Una vez recuperados los casos similares, las soluciones de estos casos pueden ser adaptadas de acuerdo a las necesidades del nuevo problema. Es importante enfatizar que el proceso de adaptación se refiere a la posibilidad que tiene el usuario, en función de su conocimiento y experiencia, para utilizar y en su caso adaptar, la información que recupera el sistema para tomar su decisión. Las adaptaciones se realizan con base en las diferencias de los valores de los atributos entre el caso recuperado y el nuevo caso. Posteriormente se aplica alguna fórmula o regla, para sugerir una solución. Dentro de los mecanismos de adaptación más usados en RBC se encuentran: los de Adaptación Estructural [37] y los de Adaptación Derivacional [41].

Cuando la solución no es la adecuada respecto a las condiciones del nuevo caso, una nueva solución puede encontrarse a partir de otro caso de la base de casos. Finalmente si la solución es la adecuada, es posible adicionar el nuevo problema como un nuevo caso a la base de casos. Esto permite incluir nuevo conocimiento. Por lo tanto el especialista puede adicionar nuevos casos a la base de casos, actualizar índices y mejorar las explicaciones de los casos.

La figura 5, muestra el proceso de adaptación. En este proceso se evalúan las diferencias en las descripciones entre el caso recuperado y el nuevo caso, para posteriormente adaptar la solución del caso recuperado a las condiciones del nuevo caso.

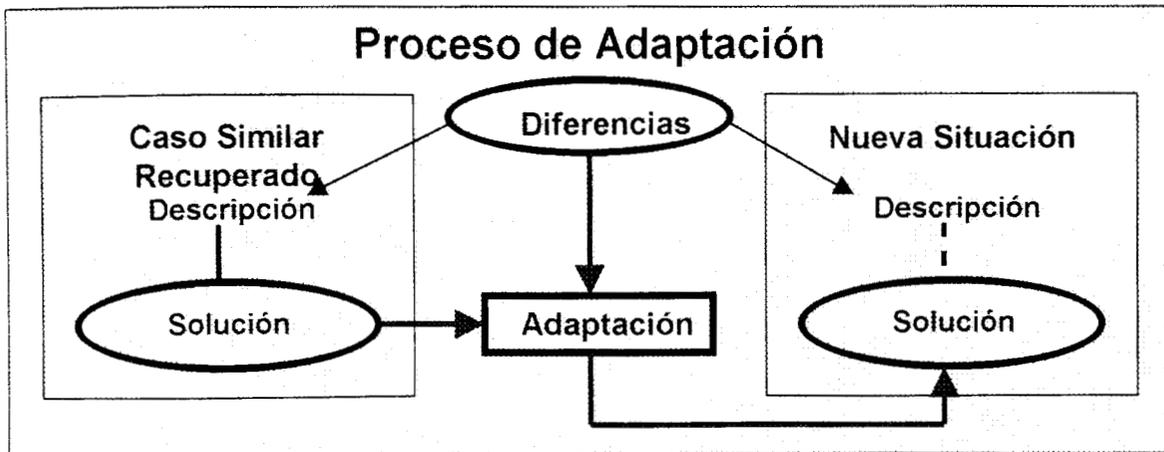


Figura 5: Proceso de Adaptación de un SEBC

## 5.6 Herramientas para Desarrollar SE

Las herramientas más utilizadas en el desarrollo de SE son programas computacionales denominados "**Shells**". Estos programas contienen todos los módulos de un SE, excepto la base de conocimientos. Algunos son sólo herramientas para la estructuración del conocimiento, es decir programas para la representación de interrelaciones de conocimientos. Otros ponen a disposición del usuario uno o más mecanismos de inferencia. Otros a su vez ofrecen posibilidades adicionales de control e interfases de fácil manejo que permiten tiempos de desarrollo cortos. Con el uso de un Shell poderoso, el encargado del desarrollo de un SE puede concentrarse plenamente en la implementación de la base de conocimientos. Es por ello que la utilización de Shells reduce el esfuerzo de desarrollo de SE. Una ventaja adicional de la utilización de Shells estriba en que no requieren un profundo dominio de un lenguaje de programación [36].

## 5.7 Criterios de Selección de un "Shell"

Algunos de los aspectos a considerar en la selección de un "Shell" son: requerimientos de "Hardware", costo de múltiples copias, costo de mantenimiento y actualización, facilidades de uso, calidad de documentación,

tipos de aplicaciones, tamaño de los sistemas los cuales pueden ser construidos, facilidades multiusuario, interfase a gráficos, bases de datos y otros "software", facilidades de representación de conocimiento, métodos de manejo de incertidumbre, método de inferencia, y facilidades de explicación. A pesar de la flexibilidad que los diferentes Shells pretenden ofrecer, el encargado del desarrollo de un SE está ligado a los conceptos básicos del Shell. Por ello, un Shell determinado no puede ser la base de cualquier SE, sino que sólo es aplicable para determinados entornos de aplicación (por ejemplo, diagnósticos) [36].

A continuación se presenta un conjunto de aplicaciones que históricamente dió lugar a diferentes tipos de SE.

El trabajo de Schank y Abelson en 1977 dió origen al RBC. Ellos planteaban que el conocimiento del ser humano es grabado como "**Scripts**"; los cuales le generan expectativas y permiten realizar inferencias [43]. Los "**Scripts**" fueron propuestos como una estructura de memoria conceptual que describe eventos estereotípicos, tales como ir al restaurante o ir a consulta con el médico. Sin embargo, algunos experimentos con "**Scripts**" mostraron que no era una teoría de representación de la memoria humana lo suficientemente completa. Por ejemplo una persona confunde escenas en el consultorio de su médico con una visita al consultorio del dentista. Estas observaciones dentro del campo de la filosofía y de la psicología se conocen como teorías de formación de conceptos, solución de problemas y aprendizaje experimental.

Roger Schank continuó investigando el papel que la memoria de situaciones previas (casos) y ciertos patrones de situaciones o "**paquetes de organización de memoria (MOPs)**" juegan en la solución de un problema y en el aprendizaje [43].

Wittgenstein observó que algunos conceptos utilizados para describir tipos de objetos como mesas o sillas; los cuales presentan gran variedad de formas, no permiten clasificarlos mediante un conjunto de características generales; sino a través de un conjunto de ejemplos (casos) similares [44]. Este trabajo ha sido citado por Aamodt [56] como la base filosófica del RBC.

Janet Kolodner desarrolló en 1980 el primer SRBC llamado CYRUS [43]. CYRUS contenía conocimiento en forma de casos acerca de viajes y reuniones de la Exsecretaria de Estado de E.U.A. Cyrus Vance. CYRUS fue una implementación del modelo de memoria dinámica de Schank. Su modelo de memoria de casos sirvió posteriormente como base para el desarrollo de otros sistemas de RBC, como el MEDIATOR, CHEF, PERSUADER, CASEY y JULIA.

CASEY combina RBC y razonamiento causal para diagnosticar fallas cardíacas a partir de síntomas y sus posibles causas [33]. Como entrada toma la descripción de un nuevo paciente incluyendo signos normales, signos actuales y síntomas.

MEDIATOR es uno de los primeros SRBC que ejecuta tareas de planeación [42] como evaluación de situaciones, generación de soluciones, diagnóstico, razonamiento y corrección de errores. Este sistema fue el primero en utilizar múltiples casos.

CHEF es un planificador basado en casos [45]. Dado un conjunto de objetivos de planeación, el sistema evalúa la situación tomando en cuenta los casos que pueden anticipar problemas posteriores. Posteriormente recupera y adapta un caso de su librería de casos a las condiciones de la nueva situación.

PERSUADER combina técnicas de RBC y técnicas de decisión teórica para generar resoluciones satisfactorias a objetivos específicos en trabajos de negocios [42]. Este sistema busca el mejor caso precedente para generar una

solución y cuando es necesario explica el porque de la solución a partir de soluciones de otros casos.

JULIA fue diseñado en 1990 para la planificación de menús alimenticios [48]. Este sistema usa casos para proponer diferentes opciones de menús, tomando en cuenta las preferencias alimenticias del usuario. JULIA utiliza diferentes métodos de adaptación para transformar los diferentes menús de acuerdo a los nuevos requerimientos del usuario.

El trabajo de Bruce Porter en 1986, relacionado con clasificación, muestra y aprendizaje maquina, concluyó con el desarrollo del sistema PROTOS. PROTOS fue desarrollado para la clasificación de desordenes auditivos a partir de la descripción de los síntomas, exámenes e historia del paciente. Este sistema fue entrenado con 200 casos divididos en 24 categorías de desordenes auditivos y del habla. Una vez entrenado el sistema su precisión fue del 100 por ciento [49].

Edwina Rissland y su grupo de trabajo de la Universidad de Massachusetts en Amherst desarrollaron el sistema HYPO [50]. Los casos de HYPO registran antecedentes legales que son usados para interpretar diversas situaciones en una Corte de Justicia y de esta manera generar argumentos, tanto para la defensa como para el fiscal. Este sistema posteriormente fue combinado con razonamiento basado en reglas para generar el sistema CABARET.

CABARET es un Shell que integra razonamiento basado en reglas con RBC e incluye estrategias para elegir el mejor caso que se adapte a la nueva situación en el momento deseado por el usuario [51]. Además cuenta con algoritmos de recuperación de casos y con una interfase de usuario que facilita su aplicación en el desarrollo de nuevos sistemas.

En Gran Bretaña, el RBC es aplicado particularmente a la Ingeniería Civil. Un grupo de investigación en la Universidad de Salford, aplicó diferentes técnicas para el diagnóstico de fallas, reparación y restauración de edificios [61]. Yang y Robertson [58] en Edinburgo, desarrollaron un sistema de RBC para interpretar normas de construcción. Otro grupo en Wale, aplicó RBC en el diseño de puentes para motocicletas [44].

Recientemente se han desarrollado sistemas de apoyo para la toma de decisiones clínicas en la evaluación de biopsias de pacientes en quienes se sospecha por hallazgos de mamografía el diagnóstico de cáncer de mama, aplicando RBC. El sistema está diseñado para disminuir el número de casos en donde se diagnostican biopsias benignas como malignas [58].

Frize y Walker en el 2001, desarrollaron un sistema de soporte de decisión médica para unidades de cuidado intensivo utilizando RBC. El sistema fue diseñado para ayudar al personal de enfermería a evaluar el estado del paciente y a determinar su probable diagnóstico y tratamiento [59].

Lisiane Albuquerque y su grupo en el 2000, desarrollaron el sistema SDDEP para diagnóstico de desnutrición energético-proteica utilizando RBC [33]. Este prototipo es capaz de diagnosticar tres tipos de desnutrición (marasmo, kwashiorkor y marasmo-kwashiorkor) en niños de 0 a 18 meses de edad, a partir de parámetros antropométricos, síntomas característicos de desnutrición y exámenes de laboratorio.

Bertol y Bruginiski en el 2000, desarrollaron un sistema de apoyo en la decisión médica, basado en reglas de producción que analiza e interpreta los datos de laboratorio para detectar disturbios y complicaciones metabólicas relacionadas con la terapia nutricional [60].

## II. Metodología

El conocimiento necesario para la prescripción nutrimental de pacientes graves y en estado crítico, se basa en la experiencia del especialista en la solución de nuevos casos a partir de soluciones previas y tomando en cuenta lo complejo que es la determinación del tipo de apoyo para esta clase de pacientes, debida a la gran variabilidad en sus condiciones fisiopatológicas; se consideró desarrollar un SEBC.

La concepción de este proyecto fue resultado del trabajo con los especialistas en nutrición de la UCI del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional Siglo XXI, quienes determinaron con base a su experiencia y metodología de trabajo las variables relevantes en la valoración nutrimental de pacientes en estado crítico. La literatura de referencia en relación al apoyo nutrimental de pacientes graves y en estado crítico se utilizó para una mejor comprensión y planeación de éste proyecto.

La metodología que se siguió en el desarrollo de este proyecto incluye 1. Selección de las Variables Fisiológicas más importantes en la valoración de pacientes graves y en estado crítico, 2. Definición de los Criterios de Inclusión, No Inclusión y Exclusión para la valoración de los pacientes, 3. Criterios de Selección del Shell "**ReCall**", 4. Diseño del Sistema de Apoyo en la Prescripción Nutrimental para Pacientes Graves y en Estado Crítico (SAPNPGEC), 5. Diseño de una Guía de Tratamiento para dar Apoyo Metabólico - Nutrimental para Pacientes Graves y 6. Evaluación del Sistema SAPNPGEC y de la Guía de Tratamiento Metabólico - Nutrimental.

### **2.1 Selección de las Variables o Atributos Fisiológicos más importantes en la valoración de pacientes graves y en estado crítico.**

## **Sepsis**

Múltiples estudios epidemiológicos han demostrado que las bacterias que colonizan el intestino frecuentemente producen las infecciones sistémicas en pacientes hospitalizados de alto riesgo o los que se encuentran en terapia intensiva. Los estudios prospectivos han demostrado que las cepas de bacterias del bolo fecal son las mismas que se encuentran en las infecciones sistémicas que presentan los pacientes graves. Los efectos hipermetabólicos que produce la sepsis y su efecto sobre el metabolismo intermedio se consideran al momento de evaluar el estado nutricional de los pacientes graves y en estado crítico.

## **Alteración Pulmonar**

Esta variable se refiere a que es indispensable que los pacientes reciban un aporte de oxígeno adecuado ( $DO_2$ ) antes de recibir apoyo metabólico-nutricional, para evitar hipoxemia y mantener un índice de Kirbi ( $PaO_2$ /fracción inspirada de oxígeno ( $FiO_2$ )) mayor de 300. Se conoce la imposibilidad para que se lleve a cabo el metabolismo de nutrientes en presencia de hipoxemia.

## **Alteración de Líquidos y Electrolitos**

Es bien conocido que las alteraciones de exceso o déficit de electrolitos, así como de líquidos intravasculares repercuten en el estado hemodinámico y éste a su vez tiene un efecto sobre la oxigenación sistémica de un paciente por lo que una alteración a este nivel contraindican el apoyo metabólico-nutricional (nutricional enteral, parenteral o ayuno).

## **Función del Tracto Gastrointestinal**

Esta variable se refiere básicamente a la tolerancia del intestino al inicio de la nutrición enteral por sonda nasoyeyunal colocada en la primera o segunda

porción del intestino, su evaluación clínica parte del hecho de la presencia de distensión abdominal persistente (cinco días o más) o diarrea en cantidad mayor a 800 ml /24 h con o sin repercusión hemodinámica, lo que contraindica el uso de esta vía.

### **Alteración en la Función Renal**

En esta variable se analizan dos factores que contraindican el inicio de nutrición enteral o parenteral en presencia de oliguria o elevación de creatinina, como dos índices de disfunción renal aguda o crónica. Debe señalarse que si el paciente se somete a sustitución de la función renal mediante diálisis peritoneal o hemodiálisis se puede iniciar el apoyo nutricional.

### **Alteración en la Función Hepática**

Esta variable analiza la función hepática desde el punto de vista de la depuración de bilirrubinas como un indicador de la función hepática y de la presencia de lesión hepática al valorar la elevación enzimática como índice de destrucción de hepatocitos. La elevación de ambas en las concentraciones descritas deben tomarse en cuenta para el inicio de la nutrición, ya que el metabolismo de los nutrientes se lleva a cabo en éste órgano y si las condiciones no son adecuadas se favorecerá la disfunción hepática.

### **Alteración en la Función Pancreática**

Esta variable determina específicamente si el paciente debe recibir nutrición por vía parenteral o enteral. La elevación de lipasa en presencia de una depuración de creatinina sérica mayor de 20 ml/minuto se traduce en que ésta se debe a una alteración pancreática, lo que indicaría la vía parenteral por la cual se debe administrar el apoyo metabólico al paciente.

## **Estrategia Nutrimental**

La estrategia nutricional en pacientes graves y en estado crítico está determinada por la evaluación de todas las variables en su conjunto, lo anterior tiene como base la toma de la decisión integrando los resultados de todas las variables. Tomando en cuenta que todas las variables pueden ser normales, o solo encontrar alteración en una o varias de ellas.

Las variables descritas anteriormente son las que con mayor frecuencia se ven afectadas en los pacientes graves y en estado crítico y deben ser consideradas al iniciar el apoyo metabólico-nutricional. La afectación de una sola variable o de varias determinará la posibilidad del inicio o no de la nutrición. La elección de estas ocho variables se realizó tomando en cuenta que el usuario final de este sistema es un médico, que está capacitado para valorar cada una de las variables y además tomando en consideración que el objetivo más importante de este sistema es apoyar la prescripción nutricional de pacientes graves y en estado crítico con base a la información que se obtiene de un número pequeño de variables proporcionadas por el usuario. Entre mayor sea el número de variables que el sistema solicite al usuario, menor es la probabilidad de que el sistema sea usado por el médico, debido a que en un paciente en estado crítico la toma de decisiones debe ser rápida, si esta última consume tiempo la hace no práctica, además de retrasar los beneficios que pudieran proporcionarse al paciente.

Las variables más relevantes y las condiciones que se deben cumplir para su diagnóstico, al momento de prescribir la estrategia nutricional se describen a continuación. Cabe mencionar que para diagnosticar las alteraciones de electrolitos, pulmonar, hepática y la función del tracto gastrointestinal es suficiente con que una de las condiciones se cumpla. Para diagnosticar las demás alteraciones es necesario que se cumplan todas las condiciones.

- **Alteración Pulmonar**

Hipoxemia (Presión arterial de oxígeno (PaO<sub>2</sub>) < 60mmHg y un índice de Kirbi que requiera de asistencia mecánica ventilatoria (AMV) por tres o más días.

- **Alteración de Líquidos**

- ◆ **Déficit de Agua**

- Sodio (Na) sérico > 145mEq/L
- Osmolaridad plasmática > 300mosm/kg
- Glucosa normal

- ◆ **Exceso de Agua**

- Na sérico < 135mEq/L
- Osmolaridad plasmática < 280mosm/kg
- Glucosa normal

- **Alteración de Electrolitos**

- Hipernatremia (Na sérico > 145mEq/L)
- Hiponatremia (Na sérico < 135mEq/L)
- Hiperkalemia (K sérico > 5mEq/L)
- Hipokalemia (K sérico < 3.5 mEq/L)

- **Función del Tracto Gastrointestinal (TGI)**

Íleo con intolerancia a la dieta enteral > cinco días o diarrea ≥ 800ml en 24 horas.

- **Sepsis**

- Temperatura > 38°C o < 36°C
- Frecuencia Cardíaca > 90 latidos/min
- Frecuencia Respiratoria > 20 respiraciones/min o PaCO<sub>2</sub> < 32 torr (<4.3 kPa).

- Leucocitos  $> 12000 \text{ cel/mm}^3$ ,  $< 4000 \text{ cel/mm}^3$ , o  $> 10\%$  de formas inmaduras de glóbulos blancos.

- **Alteración Renal**

Oliguria  $\leq 479 \text{ ml/24hr}$  y/o creatinina en suero  $\geq 3 \text{ mg/dl}$ .

- **Alteración Hepática**

Bilirrubina sérica  $\geq 3 \text{ mg/dl}$  o pruebas de función hepática (transaminasa glutámico oxalacética (TGO) y transaminasa glutámico pirúvica (TGP)  $\geq$  al doble del valor de referencia normal.

- **Alteración Pancreática**

Diagnóstico de pancreatitis aguda o crónica y/o lipasa  $>$  dos veces el límite normal ( $3 - 18 \text{ Unidades/dl}$ ) con depuración de creatinina  $> 20 \text{ ml / min}$ .

- **Aspectos a considerar en la selección de Estrategias Nutrimientales**

- ◆ **Función Normal de TGI**

- Requerimientos normales  $\rightarrow$  dieta estándar con o sin fibra.
- Requerimientos energéticos elevados o restricción de líquidos  $\rightarrow$  alta densidad energética.
- Requerimientos proteínicos elevados  $\rightarrow$  rica en proteínas.

- ◆ **Necesidades Metabólicas Especiales**

- Mala cicatrización de heridas  $\rightarrow$  rica en proteínas, micronutrientes aumentados.
- Hiperglicemia  $\rightarrow$  grasa moderada, carbohidratos moderados, contenga fibra.
- Función Pulmonar alterada  $\rightarrow$  alta en grasa, baja en carbohidratos.
- Función Renal alterada  $\rightarrow$  alta densidad energética, baja en proteínas.
- Función Hepática alterada  $\rightarrow$  alta densidad energética, baja en proteínas, ricas en aminoácidos de cadena ramificada.

#### ◆ **Alteración del TGI**

- Requerimientos proteínicos normales- dieta rica en péptidos.
- Requerimientos energéticos elevados o restricción de fluidos – alta densidad energética, dieta rica en péptidos.
- Requerimientos energéticos y proteínicos elevados o restricción de fluidos – alta densidad energética, dieta rica en proteínas y péptidos.

#### ◆ **No Funcionalidad Intestinal**

- Nutrición Parenteral Total (NPT)
- Alimentación dual con NPT y dieta rica en péptidos.

## **2.2 Definición de los Criterios de Inclusión, No Inclusión y Exclusión para la valoración de los pacientes.**

La valoración de los pacientes de la UCI se llevó a cabo teniendo en cuenta los criterios de I. Inclusión, II. No Inclusión y III. Exclusión, definidos en conjunto con los especialistas en nutrición de la UCI.

### **I. Criterios de Inclusión**

- Tiempo de ayuno  $\geq$  a 7 días
- Expectativa de enfermedad mayor de 10 días
- Pérdida de peso mayor del 10 % del peso real
- Riesgo elevado de desnutrición aguda
- Estabilidad desde el punto de vista hemodinámico (Presión Arterial Media de 80mmHg y Gasto Renal de 1ml/kg/min) y metabólico (Glicemia Sérica < 200 mg/dl, Triglicéridos < 400 mg/dl, Colesterol < 250 mg)

### **II. Criterios de no Inclusión**

- Pacientes clínicamente no aptos para iniciar nutrición

### III. Criterios de Exclusión

- Pacientes dados de alta antes de iniciar la nutrición

#### 2.3 Criterios de Selección del Shell "ReCall"

Después de realizar un estudio de las características de diferentes shells disponibles en el mercado, se eligió el shell **"ReCall"** de la compañía **Isoft**, por tener aplicación basada en casos, interfase gráfica con el usuario de fácil manejo, adaptación por reglas, representación de conocimiento desconocido, posibilidad de interactuar con programas externos, costo y licencia disponible, todas estas características deseables para el desarrollo del SAPNPGEC. Este shell está diseñado en una arquitectura abierta que permite al usuario optimizar su aplicación. La arquitectura del **"ReCall"** esta constituida por un lenguaje orientado a objetos con taxonomías, descriptores de atributos, de hechos y de relaciones entre objetos. Esto permite al usuario representar conocimiento complejo en un área específica de forma modular y estructurada.

**"ReCall"** se ha aplicado en la implementación de "Help Desk" (apoyo técnico, diagnóstico de fallas y prevención), en Redes y Telecomunicaciones (manejo de alarmas de redes, análisis del manejo y desempeño de redes), en la Industria (estimación de costos, diseño de herramientas, control de procesos continuos y evaluación de calidad), en medicina (apoyo en el diagnóstico e interpretación de imágenes) [63].

#### 2.4 Diseño del SAPNPGEC

El diseño del SAPNPGEC fue estructurado en tres partes: Desarrollo de la Base de Conocimiento, Desarrollo del Módulo de Inferencia, Interfase con el Usuario.

## 2.4.1 Desarrollo de la Base de Conocimiento

El desarrollo de la base de conocimiento involucra: conformación de la base de casos y desarrollo del proceso de indexación. Las características de la base de conocimientos se muestran en la tabla 2.

**2.4.1.1 Conformación de la Base de Casos:** La base de casos está constituida por 70 casos recolectados durante la fase de planeación. Esta se estructuró siguiendo un mismo formato en donde cada caso tenía las mismas variables evaluadas. El formato utilizado contiene información del paciente como nombre, edad, género, motivo de ingreso, fecha de evaluación nutricional, número de expediente, alteración de líquidos, alteración de electrolitos, alteración en la mecánica ventilatoria, función del tracto gastrointestinal, sepsis, alteración renal, alteración hepática, alteración pancreática y estrategia nutricional (nutrición enteral, nutrición parenteral, nutrición oral, ayuno). La base de casos constituye la base de conocimiento del sistema, cuyas características se muestran en la tabla 2. Esta tabla muestra el número de casos que corresponde a cada una de las clases del sistema y el número de casos en que aparecen cada uno de los valores de los diferentes atributos. En éste proyecto se propone una base de 70 casos, debido a que en la literatura no se reporta el número de casos idóneo para estructurar la base de conocimiento de un SEBC; es probable que si se incluye un mayor número de casos en el SEBC se pueda mejorar el porcentaje de acierto en la generación de estrategias nutricionales respecto a la opinión del especialista.

La representación del conocimiento en la base de casos se realizó utilizando el lenguaje de representación de conocimiento del “**ReCall**” orientado a objetos, el cual permite describir y tratar los casos en una forma de "atributo-valor", como por ejemplo "alteración de líquidos - si o no". Los casos pertenecen a cada una de las clases definidas en la tabla 2. Una clase es considerada como una

estructura representada por un conjunto de objetos que cumplen un conjunto de atributos.

<b>Clases</b>		<b>Número de Casos</b>
Enteral		20
Parenteral		35
Oral		6
Ayuno		9
<b>Atributos y sus Valores</b>		<b>Número de Casos</b>
<b>Alteración de Líquidos</b>		
• Normal		48
• Aumentada		2
• Disminuida		16
• Manejo		4
<b>Alteración de Electrolitos</b>		
• Normal		48
• Aumentada		16
• Disminuida		6
• Manejo		0
<b>Función del Tubo Gastrointestinal</b>		
• Normal		33
• Insuficiencia Digestiva		4
• Insuficiencia Absortiva		7
• Dificultad de Vaciado Gástrico		8
• Desfuncionalización Esofágica		2
• Alteración en la Masticación y Deglución		0
• No Integridad Gástrica		4
• Isquemia Intestinal		1
• Resección Colónica		3
• Insuficiencia Digestiva y Absortiva		8
<b>Alteración en la Mecánica Ventilatoria</b>		
• SI		56
• NO		14
<b>Edad (16 – 90 años)</b>		70
<b>Sepsis</b>		
• SI		16
• NO		54
<b>Alteración Renal</b>		
• SI		18
• NO		52
<b>Alteración Hepática</b>		
• SI		14
• NO		56
<b>Alteración Pancreática</b>		
• SI		5
• NO		65
<b>Género</b>		
• Masculino		43
• Femenino		27

Tabla 2: Características de la Base de Conocimiento (Base de Casos)

Las propiedades, relaciones y atributos nombrados son unidos a las clases, mediante el editor de jerarquía y clases como se muestra en la figura 6. La información de los atributos que pueden ser de tipo numérico, nominal, entero, real, texto, cardinal, fecha y sus valores, se definieron utilizando el editor de atributos del “ReCall”, que se muestra en la figura 7. En esta figura se muestran los atributos, el tipo de atributo y el número de valores aceptables por atributo.

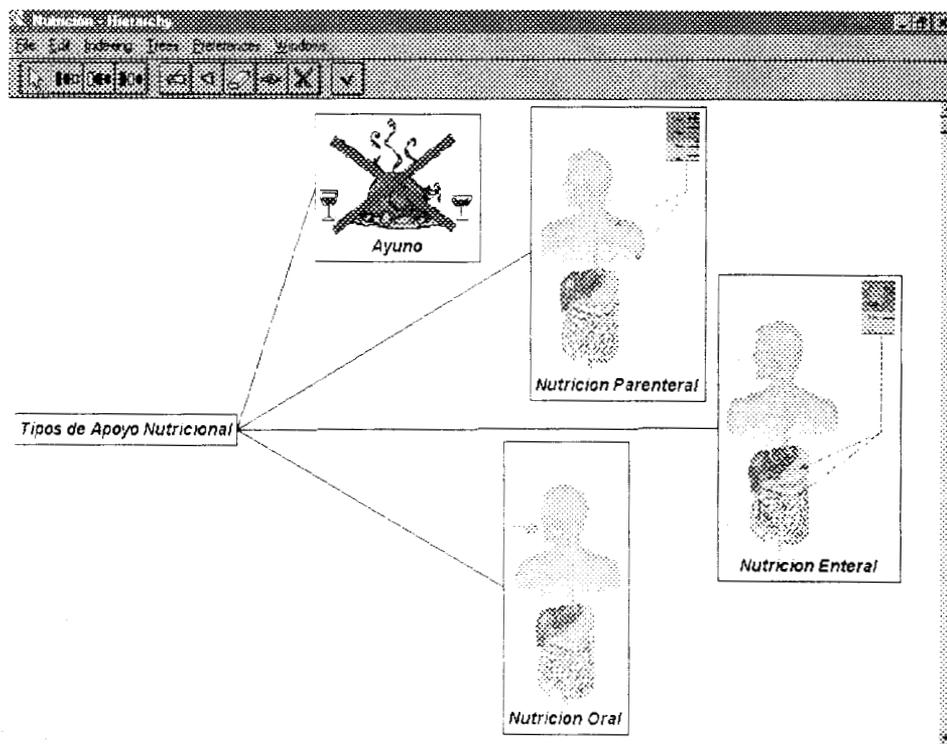


Figura 6: Editor de Jerarquía y Clases

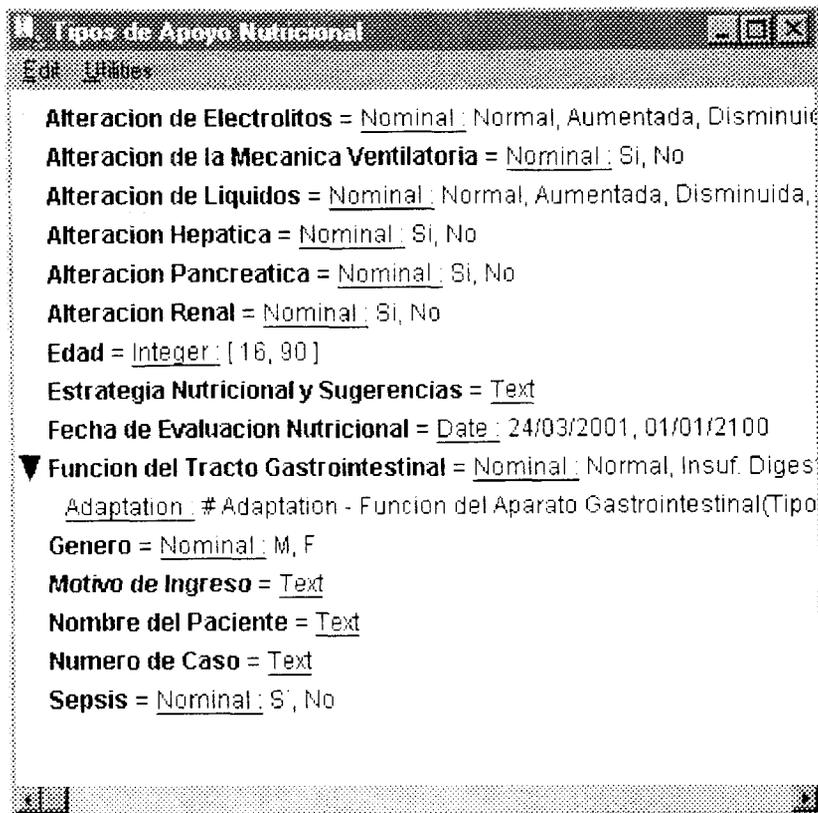


Figura 7: Editor de Atributos

La base de casos se implementó utilizando el editor de jerarquía y clases y el editor de casos del “ReCall”. El primero permite al usuario modificar los valores de los atributos y generar nuevas clases como se muestra en la figura 6 y el segundo le permite adicionar casos y actualizar la base de casos, como se muestra en la figura 8.

La selección de las clases y de las variables o atributos que conforman cada caso se realizó con base en la metodología de evaluación de los pacientes por los especialistas en nutrición de la UCI.

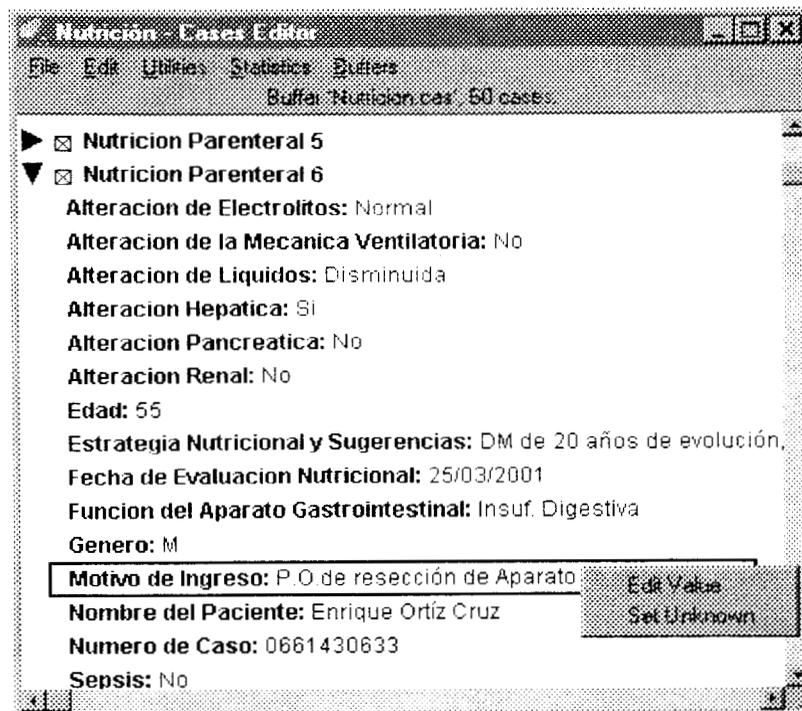


Figura 8: Editor de Casos

#### 2.4.1.2 Desarrollo del Proceso de Indexación

El SAPNPGEC realiza el proceso de indexación utilizando el método inductivo que trae implementado el “**ReCall**”; el cual genera un árbol de indexación de los casos de la base de conocimiento a partir de los criterios mencionados en la tabla 3. “**ReCall**” puede realizar el proceso de indexación de forma automática o puede ser guiada por el usuario. En éste caso se utilizó la forma guiada por el usuario, en donde se define una lista de atributos que no son relevantes para ser utilizados como índices, tales como la fecha de evaluación, el número de registro del paciente, el motivo de ingreso. Estos atributos por lo tanto se excluyen del proceso de indexación. A los atributos que participan en el proceso de indexación se les asigna un determinado “peso” o grado de importancia según la experiencia del especialista. Además para que “**ReCall**” realice el proceso de indexación se le debe definir un atributo, denominado atributo “concepto”, sobre el cual enfocará el diseño del árbol de indexación. El atributo elegido es la “**Función del Tracto Gastrointestinal**”, por ser el atributo de mayor

importancia en la elección del tipo de apoyo nutricional que debe recibir el paciente.

El orden de evaluación de los atributos que se presenta en la tabla 3, está basado en el orden de evaluación por parte del especialista. Este orden está en función a la frecuencia de alteraciones que indiquen o contraindiquen el inicio del apoyo nutricional.

El árbol de indexación toma en cuenta el orden de evaluación de los atributos (tabla 3) para generar los nodos; considerando el peso del atributo, el editor ubica los atributos de mayor peso, como nodos en la parte superior del árbol y los de menor peso en la parte inferior. La figura 9, muestra una parte del árbol de indexación implementado con el editor de árboles de indexación del "ReCall", donde se tiene el atributo "Alteración de Electrolitos" con sus valores y los porcentajes en paréntesis para cada valor del atributo "concepto", que indican el porcentaje de casos que tienen para cada valor del atributo "concepto", el mismo valor del atributo "Alteración de Electrolitos". Por ejemplo, en la rama central del árbol mostrado, se puede observar que un 21.4% de los casos Función del Tracto Gastrointestinal "Normal" y Alteración de Electrolitos "Aumentada".

<b>Atributo</b>	
Función del Tracto Gastrointestinal	Atributo elegido como concepto de Indexación
<b>Orden de Evaluación de los Atributos</b>	<b>Pesos</b>
• Alteración de Electrolitos	10
• Alteración de Líquidos	10
• Alteración Renal	6
• Alteración Pancreática	6
• Alteración Hepática	4
• Alteración de la Mecánica Ventilatoria	2
• Sepsis	3
• Edad	1
• Género	1

Tabla 3: Criterios de Indexación

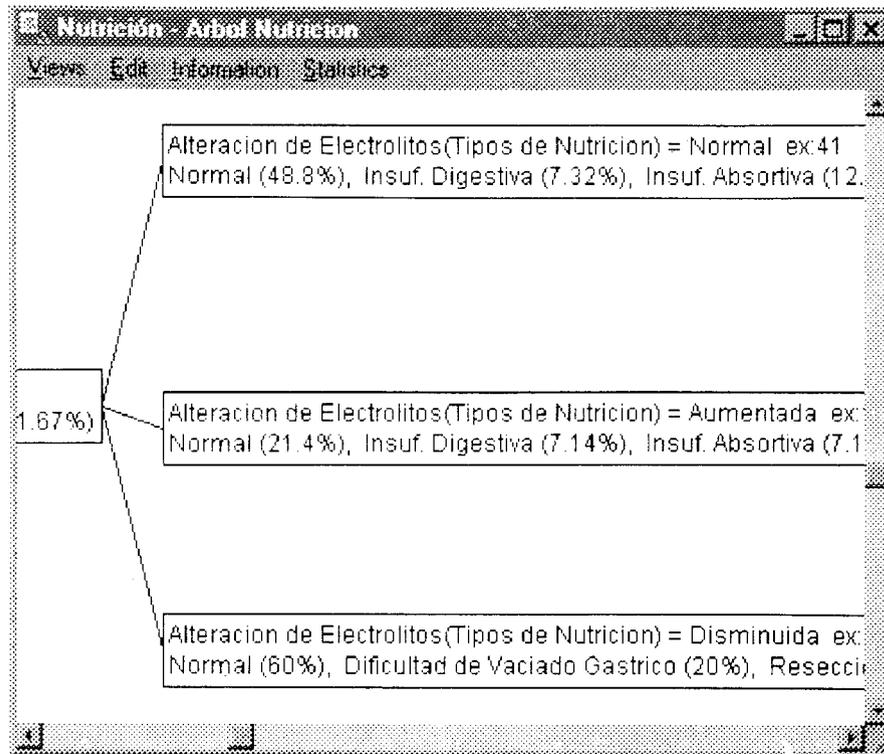


Figura 9: Editor de Árboles de Indexación

## 2.4.2 Desarrollo del Módulo de Inferencia

El módulo de inferencia del SAPNPGEc incluye las etapas de Recuperación y Adaptación.

### 2.4.2.1 Recuperación

Durante esta etapa se recuperan los casos semánticamente (se evalúa la similitud semántica de los atributos) más similares entre el nuevo caso y los casos existentes en la base de casos. Para realizar esta etapa el “ReCall” trae implementado el algoritmo “*Nearest Neighbour*”.

Al final de la fase de recuperación, “ReCall” presenta al usuario los casos similares al problema con el respectivo porcentaje de similitud, como lo muestra la figura 11. Para cada uno de ellos, él puede obtener una explicación de como

fueron seleccionados, puede conocer el grado de similaridad entre el caso recuperado y el nuevo problema, puede conocer los atributos por los que son más similares y además puede elegir uno o más casos cuyas soluciones pueden ser adaptadas a las características particulares del nuevo problema.

#### **2.4.2.2 Adaptación**

“**ReCall**” permite mecanismos de adaptación estándar; tal como el mecanismo de Voto. Este mecanismo sugiere al usuario elegir los casos que tenga mayor porcentaje de similitud respecto al atributo de mayor importancia. El usuario puede definir otro mecanismo de adaptación basado en un conjunto de reglas denominadas reglas de adaptación. Estas reglas son específicas de acuerdo a un área de conocimiento en particular y se consideran como parte del conocimiento que se agrega a la estructura de la base de casos. Una regla de adaptación es definida en un lenguaje de comandos que permite el acceso a la información de la base de conocimiento. Las reglas de adaptación proporcionan resultados importantes, si existe alto grado de similaridad entre el nuevo problema y el caso seleccionado. Por lo tanto el éxito del proceso de adaptación depende de las diferencias entre el nuevo problema y el caso seleccionado.

La etapa de adaptación se implementó utilizando el editor de reglas de adaptación del “**ReCall**” que se muestra en la figura 10. Esta etapa utiliza una regla de adaptación para orientar al usuario a elegir el caso o los casos bajo el criterio de mayor porcentaje de similitud y Función del Tracto Gastrointestinal similar a la del nuevo caso. La regla de adaptación no sugiere al usuario un único caso como prescripción nutrimental, sino sugiere un conjunto de casos bajo el criterio anteriormente mencionado. La figura 11, muestra una ventana que tiene en la parte izquierda los casos recuperados por el sistema y sus porcentajes de similitud, en el centro un caso recuperado seleccionado y en la parte derecha un nuevo caso. La otra ventana que aparece en esta figura corresponde al momento en que el usuario activa la opción de adaptación.

Aunque los casos recuperados tienen porcentajes de similitud muy parecidos, la elección del mejor caso queda a criterio del médico usuario, quien puede entrar y revisar información de los atributos de cada caso para apoyar su elección, como por ejemplo "Motivo de Ingreso" que contiene información acerca de la historia clínica y/o consultar el módulo de "Estrategia Nutricional y Sugerencias" (explicado posteriormente) que contiene información acerca de la estrategia nutricional que recibió el paciente y algunos datos de interés que influyeron en la elección del tipo de apoyo nutricional.

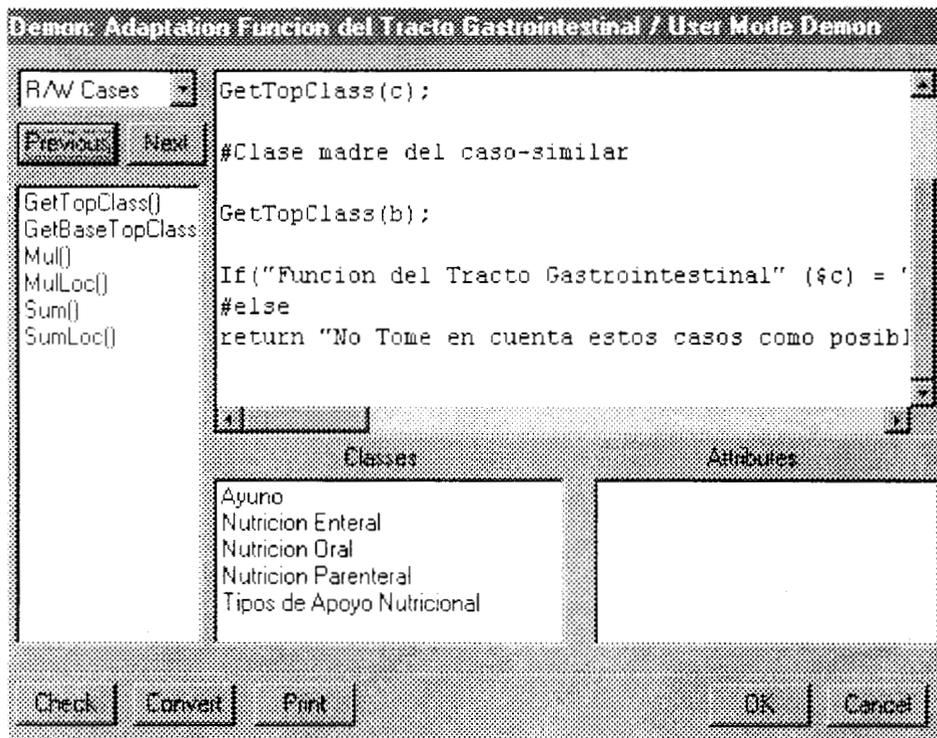


Figura 10: Editor de Reglas de Adaptación

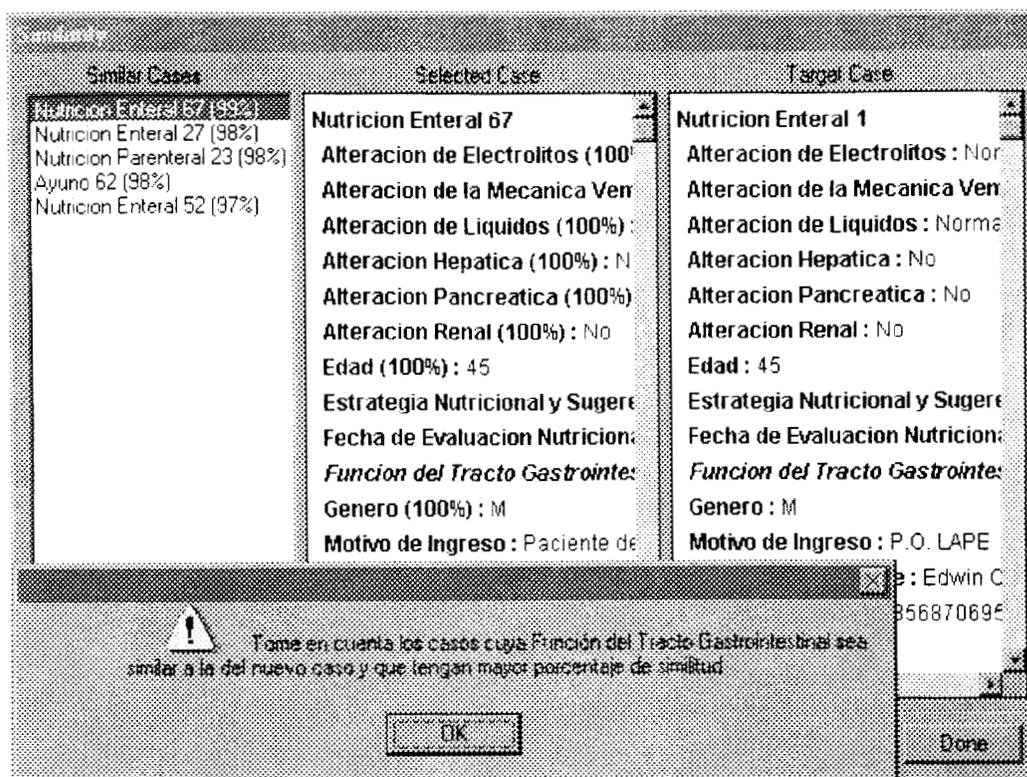


Figura 11: Presentación de Casos Similares a un Nuevo Problema y Mecanismo de Adaptación

El código del programa editor de reglas se observa en la parte superior derecha de la figura 10. Cuando el valor del atributo "Función del Tracto Gastrointestinal" del caso recuperado es igual al del nuevo caso, el sistema despliega una ventana con el mensaje "Tome en cuenta los casos cuya Función del Tracto Gastrointestinal sea similar a la del nuevo caso y que tengan mayor porcentaje de similitud"; en caso contrario despliega una ventana con el mensaje "No Tome en cuenta este caso como posible estrategia nutricional", como se muestra en la figura 11.

### 2.4.3 Interfase con el Usuario

La Interfase Gráfica del "ReCall" se utiliza como Interfase con el Usuario. Esta permite al usuario iniciar de forma rápida y fácil una aplicación basada en casos.

El uso de editores gráficos especializados permite al usuario definir objetos, relaciones entre objetos, taxonomías y reglas de adaptación.

Esta versión del **“ReCall”** proporciona una interfase con el usuario en la cual la metodología de aplicación desarrollada ya está definida. En este ambiente, el usuario es guiado paso a paso en la implementación de una aplicación. Además no es indispensable que el usuario tenga conocimiento de programación para su uso y manipulación.

El usuario puede diseñar, modificar y probar sus aplicaciones de manera interactiva. Además puede trabajar en diferentes bases de casos al mismo tiempo teniendo la posibilidad de probar con diferentes parámetros, mediciones de similitud e índices.

## **2.5 Diseño de una Guía de Tratamiento para dar Apoyo Metabólico - Nutricional a Pacientes Graves y en Estado Crítico.**

Adicionalmente se desarrolló una guía de tratamiento para dar apoyo metabólico-nutricional en el programa **“Borland Delphi”**, en donde se incluye información acerca de la nutrición Enteral (NE) y Parenteral (NP) (indicaciones, contraindicaciones, complicaciones, cálculo de los requerimientos nutricionales y fórmulas comerciales), como se muestra en la figura 12. Una vez el sistema SAPNPGEC ha llegado a una prescripción (iniciar NE, NP, Nutrición Oral o Ayuno) de acuerdo a las condiciones clínicas del paciente, el usuario puede consultar la guía para obtener información acerca del tipo de nutrición de forma rápida y para calcular los requerimientos energéticos del paciente. La información contenida en esta guía fue adquirida de diferentes tratados de Nutrición Clínica y del conocimiento y experiencia de los especialistas en nutrición, especialmente en la parte de cálculos de requerimientos de NE y NP.

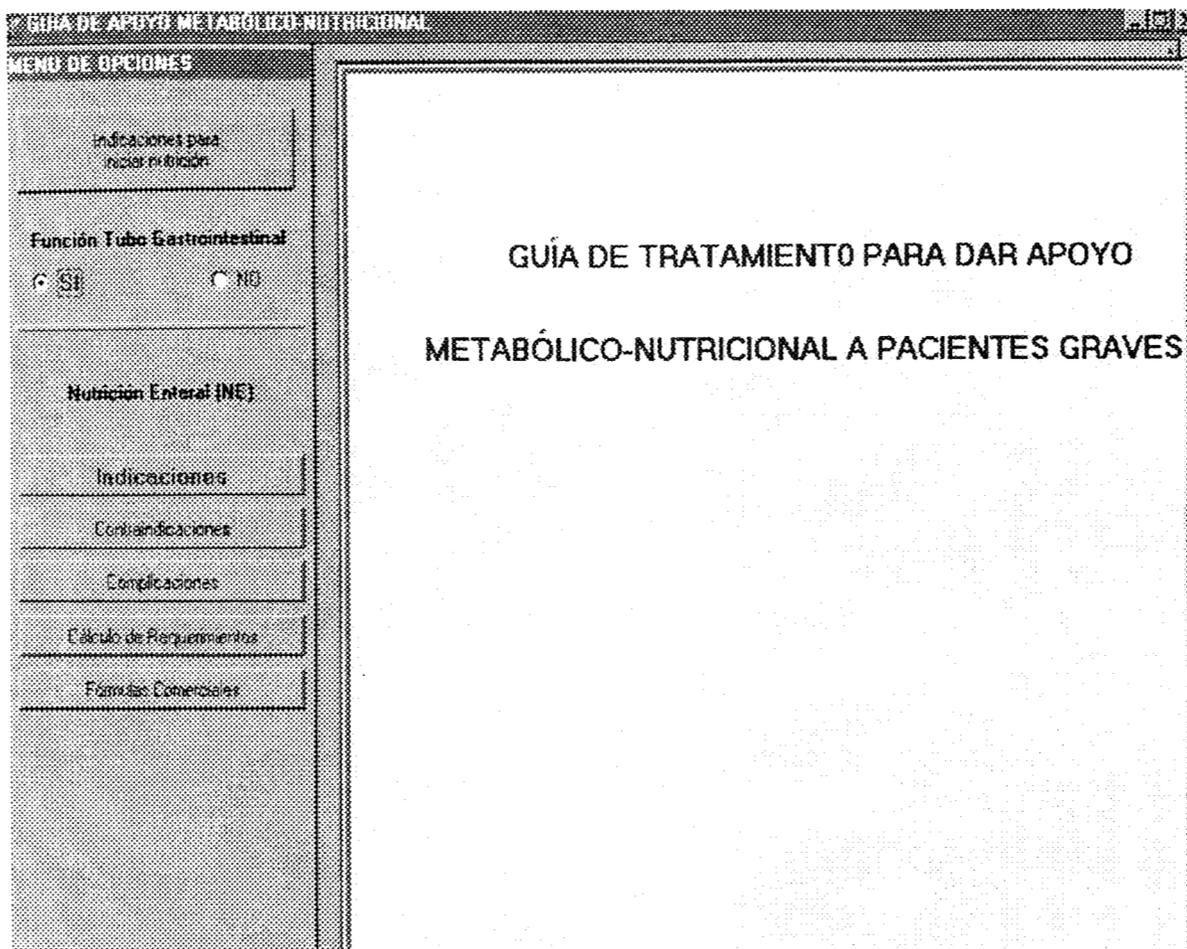


Figura 12: Programa de Ayuda para el Usuario

Los cálculos de NP se realizaron utilizando un IMC de 22, por ser el índice que más se ajusta a la relación peso / talla<sup>2</sup> del tipo de pacientes que ingresan a la UCI. El usuario introduce el valor de la talla del paciente y obtiene el Peso Ideal o Recomendable, Aporte Energético no Proteico, Aporte de Hidratos de Carbono, Aporte de Lípidos, Aporte de Proteínas, Nitrógeno Proteico y Relación Energía / Nitrógeno, como se muestra en la figura 13. Estos valores le indican al médico con poca experiencia para dar nutrición, las cantidades de sustratos (carbohidratos, lípidos y proteínas) requeridos por el paciente candidato a iniciar NP.

**CUBA DE APOYO METABOLICO NUTRICIONAL**

**MENU DE OPCIONES**

- Indicaciones para iniciar nutrición
- Función Tubo Gastrointestinal**
  - SI
  - NO
- Nutrición Parenteral [NP]**
  - Indicaciones y Contraindicaciones
  - Complicaciones
  - Cálculo de Requerimientos**
  - Fórmulas Comerciales

**CALCULOS DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES (NP)**

Talla (m)

Peso Ideal o Recomendable (Kg)	<input type="text" value="72.8"/>
Aporte Energético No Proteico (Kcal/24h)	<input type="text" value="1821.8"/>
Aporte de Hidratos de Carbono (ml)	<input type="text" value="642.9"/>
Aporte de Lípidos (ml)	<input type="text" value="364.3"/>
Aporte de Proteínas (ml)	<input type="text" value="1301.3"/>
Nitrogeno Proteico (g)	<input type="text" value="17.4"/>
Relación Energía/Nitrógeno (Kcal/g)	<input type="text" value="104.1"/>

Figura 13: Programa de Ayuda para el Usuario (Cálculo de Requerimientos NP)

Los cálculos de NE se realizaron tomando en cuenta la información nutrimental (Aporte Energético, Volumen, Hidratos de Carbono, Lípidos, Proteínas, Fibra) de los productos comerciales para NE (presentación comercial líquida o en polvo). El usuario obtiene el valor del Peso Ideal o Recomendable, Aporte Energético Total, Hidratos de Carbono, Lípidos, Fibra, Nitrógeno, Volumen Total y Relación Energía / Nitrógeno, como se muestra en la figura 14. Estos valores indican al médico, las cantidades de sustratos (carbohidratos, lípidos y proteínas) requeridos por el paciente candidato a iniciar NE.

**GUÍA DE APOYO METABÓLICO NUTRICIONAL**

**MENU DE OPCIONES**

Indicaciones para iniciar nutrición

**Función Tubo Gastrointestinal**

SI  NO

**Nutrición Enteral (NE)**

Indicaciones

Contraindicaciones

Complicaciones

**Cálculo de Requerimientos**

Fórmulas Comerciales

**CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES (NE)**

Talla (m)

Aporte Energético (Kcal) del producto para NE

Volumen (ml) del producto para NE

Hidratos de Carbono (g) del producto para NE

Lípidos (g) del producto para NE

Proteínas (g) del producto para NE

Fibra (g) del producto para NE

Nota: Si el producto para NE no contiene fibra, adicionar el valor "0" en el espacio "Fibra (g) del producto para NE"

Peso Ideal o Recomendable (Kg)

Aporte Energético Total (Kcal/24h)

Hidratos de Carbono (Kcal)

Lípidos (Kcal)

Fibra (Kcal)

Nitrogeno (g)

Volumen Total (ml)

Relación Energía (Kcal NP)/Nitrógeno (g)

Figura 14: Programa de Ayuda para el Usuario (Cálculo de Requerimientos NP)

## 2.6 Evaluación del Sistema SAPNGEC y de la Guía de Tratamiento Metabólico - Nutricional.

La metodología de evaluación que se siguió, consiste en la realización de pruebas cruzadas con especialistas en el área de nutrición para pacientes graves y en estado crítico de diferentes instituciones hospitalarias. En el caso particular del sistema SAPNGEC se generaron 20 casos clínicos de forma aleatoria, cumpliendo con el formato utilizado en la recolección de casos. Estos casos fueron evaluados por el sistema y se eligieron las estrategias nutricionales de los casos recuperados con mayor porcentaje de similitud respecto a cada nuevo caso, como las mejores opciones. Posteriormente se

dieron a evaluar estos mismos casos a especialistas en nutrición para que eligieran alguna de las opciones que daba el sistema como posibles opciones o si no consideraban adecuada ninguna de las dos opciones el especialista podía sugerir su propia estrategia. La información de los 20 casos utilizados para la evaluación del sistema se muestra en la tabla 4.

Para la evaluación de la guía de tratamiento metabólico-nutricional se eligieron 5 casos clínicos cuya estrategia generada por el sistema SAPNPGEC fue la de NE y 5 casos clínicos cuya estrategia nutricional generada por el sistema SAPNPGEC fue la de NP, para que los especialistas en nutrición calcularan los requerimientos nutrimentales y el balance nitrogenado. En las tablas 5 y 6, se muestra la información proporcionada a los especialistas para dichos cálculos, como son: motivo de ingreso, edad, género, talla y peso, para el caso de los requerimientos nutrimentales y en el caso de balance nitrogenado: nitrógeno ureico urinario, ingresos de nitrógeno y volumen urinario. Se les pidió a los especialistas que al hacer sus cálculos mencionaran el método utilizado (tipo de fórmulas).

Número de Paciente	Motivo de Ingreso	Edad	Género	Alteración de Líquidos	Alteración de Electrolitos	Alteración de la Mec. Ventilatoria	Función Digestiva
1	P.O. PNH	73	F	D	A	S	Dificultad de Vaciado Gástrico
2	Guillain Barre	25	M	A	A	S	Normal
3	Sangrado de Tubo Digestivo	39	M	D	NOR	S	No Integridad Gástrica
4	P.O. Cirugía Renal	44	F	NOR	D	S	Insuficiencia Digestiva
5	Cetoacidosis Diabética	37	F	NOR	NOR	N	Insuficiencia Digestiva
6	P.O. GYA	35	F	D	D	S	No Integridad Gástrica
7	Pancreatitis Aguda + SIRPA	49	M	D	A	S	Insuficiencia Digestiva
8	Pancreatitis Edematosa	25	M	A	NOR	S	Insuficiencia Digestiva y Absortiva
9	Aneurismectomía	72	F	D	NOR	S	Normal
10	TEP + Trombofilia	67	M	D	NOR	S	Insuficiencia Digestiva y Absortiva
11	Gastroduodenoanastomosis	44	M	A	NOR	N	Insuficiencia Absortiva
12	Cisticercos Cerebral	31	M	D	A	N	Normal
13	Politraumatismo	45	F	NOR	D	S	Normal
14	Papiledema + Edema Cerebral	24	F	NOR	A	S	Normal
15	P.O. Válvulas de Colon Transverso	19	M	NOR	NOR	S	Resección Colónica
16	P.O. Tumor Hipofisiario	25	F	NOR	D	S	Normal
17	P.O. Gastroduodenectomía	51	F	NOR	A	S	Insuficiencia Digestiva y Absortiva
18	P.O. Absceso Profundo de Cuello	64	M	D	NOR	S	Normal
19	P.O. Gastrostomía + SIDA	67	M	D	NOR	S	Insuficiencia Digestiva y Absortiva
20	P.O. Neurismectomía + Acidosis Respiratoria	43	M	A	NOR	S	Normal

= Si. N= No. A= Aumentada. D= Disminuida. NOR= Normal. M= Masculino. F= Femenino)

Tabla 4: Formato de Evaluación del Sistema SAPNPGEC

Número de Paciente	Sepsis	Alteración Renal	Alteración Hepática	Alteración Pancreática	Estrategia Nutricional	
					<i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>	
1	S	N	N	S	NP, A	( ) <sup>o</sup>
2	N	S	N	S	NP	( )
3	N	S	S	N	NP	( )
4	S	S	N	S	NO, NP, NE	( )
5	N	S	S	N	NO, NE	( )
6	S	N	S	N	NE, NP, A	( )
7	S	S	N	S	NP, NE	( )
8	S	N	N	S	NP, A	( )
9	N	N	N	N	NP, NE	( )
10	S	N	N	N	NP, A	( )
11	S	N	N	N	NP, A	( )
12	S	N	S	N	NP, A	( )
13	N	N	N	N	NP, NE	( )
14	S	N	N	S	NP	( )
15	S	S	N	N	NE, NP	( )
16	N	S	S	N	NP, NE	( )
17	N	N	S	S	NP, NE	( )
18	N	N	S	N	NP, NE	( )
19	N	N	N	N	NP, A	( )
20	N	N	N	N	NP, A	( )

\*Ayuno= No Inicio de Nutrición

<sup>o</sup> En la casilla de "Estrategia Nutricional" encierre en un círculo la estrategia que usted considere adecuada o ponga su propia estrategia dentro de los paréntesis.

Tabla 4: Continuación del Formato de Evaluación del Sistema SAPNPGE

**CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES DE PACIENTES CANDIDATOS A NUTRICIÓN ENTERAL (NE)**

Número de Paciente	Motivo de Ingreso	Edad (años)	Género	Talla (m)	Peso (kg)	Aporte Energético (Kcal) del producto para NE	Volumen (ml) del producto para NE
1	Guillain Barre	25	M	1.75	59		
2	Hemorragia Subaracnoidea	39	M	1.69	73		
3	Politraumatismo	45	F	1.58	89		
4	P.O. Tumor Hipofisiario	25	F	1.65	79		
5	P.O. Absceso Profundo de Cuello	64	M	1.76	83		

Número de Paciente	Hidratos de Carbono (g) del producto para NE	Lípidos (g) del producto para NE	Proteínas (g) del producto para NE	Fibra (g) del producto para NE	Peso Ideal o Recomendable (kg)	Aporte Energético Total (Kcal/24h)	Hidratos de Carbono (Kcal)
1							
2							
3							
4							
5							

Número de Paciente	Lípidos (Kcal)	Fibra (Kcal)	Nitrógeno (g)	Volumen Total (ml)	Relación Energía (Kcal NP) / Nitrógeno (g)	Método de Cálculo
1						
2						
3						
4						
5						

**CÁLCULO DEL BALANCE NITROGENADO**

Número de Paciente	Nitrógeno Ureico Urinario (NUU) (mg/dl)	Ingresos de Nitrógeno (g)	Volumen Urinario (ml/24h)	Balace Nitrogenado	Nivel de Hipercatabolismo	Índice Catabólico	Método de Cálculo
1	650	9	1850				
2	400	12	2500				
3	430	12.5	3000				
4	340	10	3200				
5	300	12	2800				

Tabla 5: Formato de Evaluación de la Guía de Tratamiento Metabólico - Nutricional

**CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES DE PACIENTES CANDIDATOS A NUTRICIÓN PARENTERAL (NP)**

Número de Paciente	Motivo de Ingreso	Edad (años)	Género	Talla (m)	Peso (kg)	Peso Ideal o Recomendable (kg)	Aporte Energético No Proteínico (Kcal/24h)
1	P.O. PNH	73	F	1.62	72		
2	P.O. Cirugía Renal	44	F	1.75	89		
3	P.O. GYA	35	F	1.50	73		
4	Pancreatitis Aguda + SIRPA	49	M	1.70	95		
5	Gastroduodenoanastomosis	44	M	1.80	108		

Número de Paciente	Aporte de Hidratos de Carbono (ml)	Aporte de Lípidos (ml)	Aporte de Proteínas (ml)	Nitrógeno Proteínico (g)	Relación Energía / Nitrógeno (Kcal/g)	Método de Cálculo
1						
2						
3						
4						
5						

**CÁLCULO DEL BALANCE NITROGENADO**

Número de Paciente	Nitrógeno Ureico Urinario (NUU) (mg/dl)	Ingresos de Nitrógeno (g)	Volumen Urinario (ml/24h)	Balance Nitrogenado	Nivel de Hipermetabolismo	Índice Catabólico	Método de Cálculo
1	450	12	3200				
2	530	9	4000				
3	600	13	2800				
4	350	15	2500				
5	580	9	3000				

*Tabla 6: Formato de Evaluación de la Guía de Tratamiento Metabólico - Nutricional*

### **III. Resultados y Conclusiones**

El objetivo principal de este trabajo consistió en desarrollar un SEBC que represente el conocimiento, la experiencia y la metodología de los especialistas en nutrición de paciente graves y en estado crítico, para que sirva a médicos no especialistas en nutrición como apoyo en la prescripción nutrimental de este tipo de pacientes.

En los capítulos anteriores se ha presentado la problemática, explicando los aspectos relevantes en la valoración de pacientes graves y en estado crítico y los aspectos relacionados con el desarrollo de un SE. Nos resta en este capítulo explicar como se realizaron las pruebas de evaluación del SAPNPGEC, de la guía para el tratamiento metabólico-nutrimental y la presentación e interpretación de resultados.

#### **3.1 Pruebas Realizadas**

Para evaluar la eficiencia del SAPNPGEC se aplicó el formato de evaluación mostrado en la tabla 4 del capítulo de metodología a diferentes especialistas (tabla 7). Algunos de los especialistas pertenecían a la UCI del Hospital de Especialidades Centro Médico Siglo XXI y a la UCI del Hospital Español, otros pertenecían a diferentes servicios o áreas del Hospital de Especialidades relacionados de alguna manera con la nutrición; como el caso del especialista denotado con el número 5 encargado de la valoración nutrimental de los pacientes en piso. Se decidió incluir a especialistas con poca experiencia en la valoración denotados con los números 1, 3 y 4 para probar el porcentaje de acierto del sistema no solo con especialistas en nutrición de pacientes graves y en estado crítico (especialista 2).

<b>Institución Médica</b>	<b>Especialidad</b>	<b>Experiencia (años)</b>
UCI Hospital de Especialidades Centro Médico Siglo XXI.	Médico Cardiólogo (1)	5
	Médico Endocrinólogo (encargado del apoyo metabólico-nutricional en la UCI) (2)	8
	Médico Internista (3)	15
	Médico Intensivista e Internista (4)	15
Apoyo Nutricional Hospital de Especialidades Centro Médico Siglo XXI.	Médico Cirujano (5) (encargado del apoyo metabólico-nutricional en piso)	10
Apoyo Nutricional Hospital Español	Lic. en Nutrición (6) (encargado del apoyo metabólico-nutricional en la UCI)	6

*Tabla 7: Datos de los especialistas que participaron en la evaluación del SAPNPGEC*

A los especialistas participantes en la evaluación se les indicó que debían seleccionar la estrategia o las estrategias nutricionales propuestas por el sistema SAPNPGEC con las cuales estuvieran de acuerdo o por el contrario sugerir la estrategia nutricional que ellos consideraran conveniente, respecto a cada uno de los casos clínicos generados de forma aleatoria (tabla 4).

Para la evaluación de la Guía de Apoyo Metabólico-Nutricional se aplicaron los formatos de evaluación mostrados en las tablas 5 y 6 del capítulo de metodología, al especialista encargado del apoyo metabólico-nutricional en piso denotado con el número 5 y al especialista en nutrición encargado del apoyo metabólico-nutricional en la UCI denotado con el número 2 (tabla 7). A estos especialistas se les indicó que debían realizar el cálculo de los requerimientos nutricionales y de los balances nitrogenados para diez de los casos cuyas estrategias nutricionales sugeridas por el sistema SAPNPGEC fueran cinco para nutrición enteral y cinco para nutrición parenteral.

### 3.2 Resultados

Las tablas 8, 9 y 10, muestran las estrategias seleccionadas por cada uno de los especialistas que participaron en la evaluación del SAPNPGEC. Las estrategias que se encuentran en la columna izquierda de las tablas son las generadas por el sistema, las que están marcadas con negrilla son las estrategias elegidas por el especialista y las estrategias dentro de los paréntesis son aquellas que el especialista considera adecuadas y que no están dentro de las opciones generadas por el sistema. Al final de las columnas se encuentran los porcentajes de acierto entre las estrategias generadas por el sistema y las propuestas por el especialista.

<b>Estrategia Nutrimental (Especialista 1)</b> <i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>		<b>Estrategia Nutrimental (Especialista 2)</b> <i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>	
<b>NP. A</b> ( ) <sup>o</sup>		<b>NP. A</b> ( ) <sup>o</sup>	
NP ( NE )		NP ( NE )	
NP ( A )		NP ( A )	
NO. NP. NE ( A )		NO. <b>NP. NE</b> ( )	
NO. NE ( A )		NO. <b>NE</b> ( )	
NE. <b>NP. A</b> ( )		NE. <b>NP. A</b> ( )	
<b>NP. NE</b> ( )		<b>NP. NE</b> ( )	
<b>NP. A</b> ( )		<b>NP. A</b> ( )	
NP. <b>NE</b> ( )		NP. <b>NE</b> ( )	
NP. <b>A</b> ( )		NP. <b>A</b> ( )	
<b>NP. A</b> ( )		<b>NP. A</b> ( )	
NP. A ( NO )		NP. <b>A</b> ( )	
<b>NP. NE</b> ( )		NP. <b>NE</b> ( )	
NP ( NE )		<b>NP</b> ( A )	
NE. <b>NP</b> ( )		NE. <b>NP</b> ( )	
NP. <b>NE</b> ( )		NP. <b>NE</b> ( )	
<b>NP. NE</b> ( )		<b>NP. NE</b> ( )	
NP. <b>NE</b> ( )		NP. <b>NE</b> ( )	
<b>NP. A</b> ( )		<b>NP. A</b> ( )	
NP. <b>A</b> ( )		NP. <b>A</b> ( )	
<b>Acierto</b> 70%		<b>Acierto</b> 85%	

Tabla 8: Resultados de la evaluación del SAPNPGEC

<b>Estrategia Nutrimental (Especialista 3)</b> <i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>		<b>Estrategia Nutrimental (Especialista 4)</b> <i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>	
NP. A	( ) <sup>o</sup>	NP. A	( ) <sup>o</sup>
NP	( A )	NP	( NE )
NP	( A )	NP	( )
NO. NP. NE	( A )	NO. NP. NE	( )
NO. NE	( A )	NO. NE	( )
NE. NP.A	( )	NE. NP.A	( )
NP. NE	( A )	NP. NE	( )
NP. A	( )	NP. A	( )
NP. NE	( A )	NP. NE	( )
NP. A	( NE )	NP. A	( )
NP. A	( )	NP. A	( )
NP. A	( NE )	NP. A	( NE )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP	( A )	NP	( A )
NE. NP	( A )	NE. NP	( )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP. NE	( A )	NP. NE	( )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP. A	( )	NP. A	( )
NP. A	( )	NP. A	( )
<b>Acierto</b>	<b>45%</b>	<b>Acierto</b>	<b>85%</b>

Tabla 9: Resultados de la evaluación del SAPNPGEC

<b>Estrategia Nutrimental (Especialista 5)</b> <i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>		<b>Estrategia Nutrimental (Especialista 6)</b> <i>NE=Nutrición Enteral, NP=Nutrición Parenteral, NO= Nutrición Oral, A= Ayuno*</i>	
NP. A	( ) <sup>o</sup>	NP. A	( ) <sup>o</sup>
NP	( NE )	NP	( NE )
NP	( NE )	NP	( )
NO. NP. NE	( )	NO. NP. NE	( )
NO. NE	( )	NO. NE	( NP )
NE. NP.A	( )	NE. NP.A	( )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP. A	( NE )	NP. A	( )
NP. NE	( NO )	NP. NE	( )
NP. A	( )	NP. A	( )
NP. A	( )	NP. A	( )
NP. A	( NO )	NP. A	( NO )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP	( )	NP	( NE )
NE. NP	( )	NE. NP	( )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP. NE	( )	NP. NE	( )
NP. A	( NO )	NP. A	( )
NP. A	( NE )	NP. A	( NE )
<b>Acierto</b>	<b>65%</b>	<b>Acierto</b>	<b>75%</b>

Tabla 10: Resultados de la evaluación del SAPNPGEC

La tabla 11, muestra los diferentes métodos para el cálculo de los requerimientos nutrimentales y del balance nitrogenado tanto para nutrición enteral como parenteral, usados por los especialistas participantes en la evaluación.

	<b>Especialista 2</b>	<b>Especialista 5</b>
<b>Métodos de Cálculo Requerimientos Nutrimentales (NE y NP)</b>	Calorias fijas utilizando un IMC de 22.	Harris Benedict multiplicando por un factor de estrés
<b>Métodos de Cálculo Balance Nitrogenado</b>	Fórmula para calcular el índice catabólico	Fórmula para calcular el índice catabólico

*Tabla 11: Resultados de la evaluación de la Guía de Tratamiento*

### **3.3 Interpretación de Resultados**

Los resultados de las tablas 8, 9 y 10, muestran las diferencias en los porcentajes de acierto entre las estrategias sugeridas por el sistema y las generadas por los especialistas. Cabe mencionar que los porcentajes de acierto significativos, para este tipo de sistemas son aquellos que están por encima del 80%, como lo reporta la literatura [37], lo cual indica que el sistema puede mejorarse. Obsérvese que los dos porcentajes de acierto mayores, corresponden a los especialistas de la UCI del Hospital de Especialidades del Centro Médico Siglo XXI, denotados con el número 2 al médico endocrinólogo y con el número 4 al médico intensivista. Es probable que la coincidencia en el alto porcentaje de acierto del especialista 4 se deba a la experiencia adquirida en los años de trabajo junto al especialista 2. En este sentido, se puede observar una alta correlación entre las experiencias y las metodologías en la evaluación de pacientes graves y en estado crítico de estos dos especialistas.

Por otro lado, debido a que los casos que conforman la base de conocimiento fueron generados bajo el criterio del especialista 2, se esperaba un mayor porcentaje de acierto entre las estrategias sugeridas por el sistema y las generadas por este último especialista. Esto quizás se debe a que falta mejorar

la experiencia del sistema aumentando el número de casos de la base de conocimiento y también a que existe cierta variación en la generación de las estrategias nutrimentales por parte de un mismo especialista, entre una evaluación y otra, bajo las mismas condiciones. Este último aspecto quizás refleje las diferencias en la valoración que se dan en la práctica clínica aun por un mismo especialista.

Por otro lado se observa que existe un considerable porcentaje de acierto entre las estrategias nutrimentales sugeridas por el sistema y las generadas por los especialistas 2 y 6, encargados de la valoración nutrimental de pacientes graves y en estado crítico. La diferencia en los porcentajes de acierto de estos dos especialistas, quizás se deba a la formación profesional de cada especialista, aunque tengan similares metodologías de evaluación.

El bajo porcentaje de acierto de algunos de los especialistas, pudiera demostrar la falta de experiencia en evaluación nutrimental y en el caso particular del especialista 5 la falta de experiencia en la evaluación de pacientes graves y en estado crítico. Este último aspecto refleja la diferencia en la metodologías de evaluación nutrimental de pacientes en piso y los que están graves y en estado crítico.

Durante el proceso de evaluación los especialistas sugirieron incluir otras variables como por ejemplo el tiempo de ayuno, por ser una variable importante en la evaluación de los pacientes graves y en estado crítico. Además sugirieron mejorar la definición de las variables propuestas, debido a que los valores para algunos de los atributos propuestos en este trabajo generaban confusión entre los especialistas participantes. Esto muestra la diferencia de criterios en la selección de las variables para la evaluación fruto de la metodología y experiencia de cada uno de los especialistas. Por lo anterior se debe realizar la evaluación de las variables utilizando los criterios de un grupo mayor de especialistas en nutrición, con lo cual se aumentaría el porcentaje de acierto

entre las estrategias sugeridas por el sistema y las generadas por los especialistas.

Los resultados de la tabla 11, muestran las diferencias en los métodos de cálculo de los requerimientos nutrimentales y del balance nitrogenado de los especialistas 2 y 5, quienes participaron en la evaluación de la Guía de Tratamiento. Lo anterior muestra que no hay consenso en la evaluación nutrimental para los pacientes graves y en estado crítico. Cada especialista de acuerdo a su experiencia utiliza los métodos de cálculo que le han aportado mejores resultados.

Finalmente la aceptación de la interfase de usuario del sistema por parte de los especialistas fue buena, especialmente en relación a la adición y manipulación de casos en la base de conocimiento y a la facilidad de representación de nuevo conocimiento. Esto muestra que la interfase gráfica del Shell elegido estuvo acorde al objetivo de desarrollar un sistema que contara con una interfase de usuario de fácil de manejo.

Para trabajos posteriores, el desarrollo de este tipo de sistemas se debe realizar con la participación de un mayor número de especialistas en nutrición de pacientes graves y en estado crítico, pertenecientes a diferentes instituciones hospitalarias.

### **3.4 Conclusiones**

- La falta de sistemas de almacenamiento de información en las instituciones hospitalarias, dificulta no solo la dinámica de trabajo de los servicios clínicos sino también el desarrollo de SEBC. Estos sistemas podrían reunir el conocimiento y la experiencia de los especialistas, implícita en los casos clínicos, para generar herramientas de apoyo en la toma de decisiones médicas y como enseñanza del conocimiento especializado.

- El Sistema de Apoyo para la Prescripción Nutricional de Pacientes Graves y en Estado Crítico (SAPNPGEC), se validó con una base de 70 casos y se obtuvo un porcentaje de similitud promedio de 70%, entre las estrategias generadas por el especialista en nutrición y las generadas por el sistema. Aunque dos de los especialistas consultados obtuvieron un 85% de acierto. Para mejorar los porcentajes de similitud se requiere aumentar el número de casos de la base de conocimiento del sistema y someter las variables fisiológicas elegidas como atributos, a evaluación por parte de un mayor número de especialistas en nutrición. Una vez mejorada la base de conocimiento del sistema, éste podría ser usado en diferentes instituciones hospitalarias, especialmente en aquellas instituciones donde no existen especialistas en nutrición del paciente grave y en estado crítico, para orientar la toma de decisiones en este sentido.
- Cada especialista utiliza diferentes métodos de cálculo de los requerimientos nutricionales con base en su experiencia. La falta de consenso en la metodología de evaluación nutricional de pacientes graves y en estado crítico, muestra la necesidad de desarrollar SE que representen el conocimiento y la experiencia de los especialistas en nutrición para lograr de esta manera unificar los criterios de evaluación.
- La aplicación de este trabajo orientado al apoyo en la prescripción nutricional de pacientes graves y en estado crítico constituye una contribución original y novedosa en la aplicación del Shell "**ReCall**", debido a que no existe ningún reporte por parte de la compañía Isofit productora del shell, acerca de la aplicación de éste en el área de nutrición. Además en la literatura revisada no existe ningún tipo de SEBC desarrollado para el apoyo nutricional de pacientes graves y en estado crítico.

## IV. Referencias

- [1] Wolfe RR. Carbohydrate metabolism in the critically ill patient: implications for nutritional support. *Crit Care Clin* 1987;3:11-24.
- [2] Cuthberston DP. Post- shock metabolic response. *Lancet* 1942; 1:433-37.
- [3] Wolfe RR, Durkot MJ, Allsop JR, et al. Glucose metabolism in severaly burned patients. *Metabolism* 1979; 28:1031-39.
- [4] Bistrrian BR. A simple technique to estimate severity of stress. *Surg Ginecol Obstr* 1979; 148:675-78.
- [5] Wang Z, Pierson RN Jr, Heymsfield SB. The five level model: A new approach to organizing body composition research. *Am J Clin Nutr* 1992; 56:19-28.
- [6] Howell WH: Anthropometry and body composition analysis. In Matarese LE, Gottschlich MM (eds): *Contemporary nutrition support practice*. Philadelphia, WB Saunders, 1998, pp 33-46.
- [7] Thuluvath PJ, Triger DR. How valid are our reference standards of nutrition? *Nutrition* 1995; 11:731-33.
- [8] Klein S, Kinney J, Jeejeebhoy K, et al. Nutrition Support in clinical practice: Review of published data and recommendations for future research directions. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 21 1997; 21:133-56.
- [9] Prealbumin in Nutritional Care Consensus Group. Measurement of visceral protein status in assessing protein and energy malnutrition: Standard of care. *Nutrition* 1995; 11:169-71.
- [10] Hedlund JU, Hansson LO, Órtquist AB. Hypoalbuminemia in hospitalized patients with community-acquired pneumonia. *Arch Intern Med* 1995; 155:1438-42.
- [11] Jahoor F, Shangraw RE, Miyoshi H, et al. Role of insulin and glucose oxidation in mediating the protein catabolism of burns and sepsis. *Am J Physiol* 1989; 257:E323-31.
- [12] Monk DN, Planck LD, Franch-Arcas G, et al. Secuential changes in the metabolic response in critically injured patients during the first 25 days after

blund trauma. *Ann Surg* 1996; 223:395-405.

- [13] Deurenberg P, Schutz Y. Body composition. Overview of methods and future directions of research. *Ann Nutr Metab* 1995; 39:325-33.
- [14] Brose L. Prealbumin as a marker of nutritional status. *J Burns Care Rehabil* 1990; 11(4):372-75.
- [15] Prealbumin in Nutritional Care Consensus Group. Measurement of visceral protein status in assessing protein and energy malnutrition: Standard of care. *Nutrition* 1995; 11:169-71.
- [16] Thissen JP, Ketelslegers JM, Underwood LE. Nutritional regulation of the insulin-like growth factors. *Endocr Rev* 1994; 15:80-101.
- [17] Askanazi J, Carpentier YA, Elwyn DH, et al. Influence of total parenteral nutrition on fuel utilization in injury and sepsis. *Ann Surg* 1980; 191:40-6.
- [18] Frank B, Rios M, George L, et al. Applied Nutrition in ICU Patients. *Chest* 1997; 111:769-78.
- [19] Thuluvath PJ, Triger DR. How valid are our reference standards of nutrition? *Nutrition* 1995; 11:731-33.
- [20] Alexander JW. Nutrition and translocation. *JPEN* 1990; 14: 170S-174S.
- [21] Barry SM, Lacy JA and Nussbaum MS. Basic Concepts of Enteral and Parenteral Nutrition. In *Nutrition for the Hospitalized Patient*. MH Torosian. Ed. 255-270. Marcel Dekker. Inc./New York 1995.
- [22] Meguid MM, Mughal MM, Debonis D, et al. Influence of nutritional status on the resumption of adequate food intake in patients recovering from colorectal cancer operations. *Surg Clin North Am* 1986; 66:1167-76.
- [23] Seltzer MH, Slocum BA, Cataldi-Betcher EL, et al. Instant nutritional assesment: Absolute weight loss and surgical mortality. *JPEN* 1982; 6:218-21.
- [24] Seltzer MH, Bastidas JA, Cooper DM, et al. Instant nutritional assesment. *JPEN* 1979; 3: 157-59.
- [25] Seltzer MH, Fletcher HS, Slocum BA, Engler PE. Instant nutritional assesment in the intensive care unit. *JPEN* 1981; 5(1):70-72.

- [26] Kinney JM. The application of indirect calorimetry to clinical studies, in Kinney JM, Munro HN, Buskirk E (eds). *Assessment of Energy Metabolism in Health and Disease. Proceedings of an International Symposium*, Prouts Neck, ME, 1978. Columbus, OH: Ross Laboratories 1980; 42.
- [27] Souba WW. The gut as a nitrogen-processing organ in the metabolic response to critical illness. *Nutr Supp Serv* 8, 1988; 5:15-22.
- [28] Alexander JW. Nutrition and translocation. *JPEN* 1990; 14: 170S-174S.
- [29] Bristol JB, Williamson RCN and Chir M. Nutrition, operations, and intestinal adaptation. *JPEN* 1988; 12: 299.
- [30] Iverdy J. The effect of nutrition on gastrointestinal barrier function. *Sem in Resp Inf* 9, 1994; 4:248-55.
- [31] Cerra FB. Nutrient modulation of inflammatory and immune function. *Am J Surg* 1991; 161: 230-234.
- [32] Lisiane AR, Moema LC, Silvia MN, Maria M. Sistema Especialista para Diagnóstico da desnutricao Energético Protéica utilizando Raciocínio Baseado em Casos. XVII Congreso Brasileño de Ingeniería Biomédica, Brasil 2000.
- [33] Koton P. Using Experience in Learning and Problem Solving. Massachusetts Institute of Technology, Laboratory of Computer Science, Ph.D. Thesis MIT/LCS/TR-441, 1989.
- [34] Reisbeck, C.K, Schank, R.C. *Inside Case-Based Reasoning*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, US, 1989.
- [35] Beisel WR. Metabolic effects of infeccion. In Chandra RK (ed.). *Progress in Food and Nutrition Science*. New York, Pergamon Press, 1984.
- [36] Bauer K, Büttel Irmgard, et al: *Sistemas Expertos*. Nebendahl D (eds): *Respresentación del conocimiento*. Barcelona, Siemens Aktiengesellschaft, Berlín y Munich & Marcombo, S.A., 1988, pp 57-82.
- [37] Kolodner J.L. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kauffmann, 1993.
- [38] Lebowitz M. Experimental with incremental concept formation: UNIMEM. *Machine Learning* 1987; 2(ii):103-38.
- [39] Quinlan, JR. Induction of decision trees. *Machine Learning* 1986; 1:81- 106.

- [40] Maher M.L., Zhang D.M. CADSYN: using case and decomposition knowledge for design synthesis. In *Artificial Intelligence in Design*, Gero, J.S. (ed.) 1991, Butterworth-Heinmann. Oxford. UK.
- [41] Domeshek E. A case study of case indexing: Designing index feature sets to suit task demands and support parallelism. In, *Advances connectionist and neural computation theory, Vol.2: Analogical connections*, eds 1993. J. Barendsen and K. Holyoak, Norwood, NJ. US.
- [42] Simpson R.L. A Computer Model of Case- Based Reasoning in Problem Solving: An Investigation in the Domain of Dispute Mediation. Technical Report GIT-ICS-85/18, Georgia Institute of Technology, School of Information and Computer Science, Atlanta, US 1985.
- [43] Kolodner J.L. Maintaining Organization in a Dynamic Long-Term Memory. *Cognitive Science* 1983 ; 7(iv):243:80.
- [44] Moore C.J. et al. Case-Based Reasoning for Decision Support in Engineering Design 1994.
- [45] Hammond K.J. CHEF: A Model of Case-Based Planning. In *Proc. American Association for Artificial Intelligence, AAAI-86*, Philadelphia, PA, US, 1986.
- [46] Sycara E.P. Resolving adversarial conflicts: An approach to Integrating Case-Based and Analytic Methods. Technical Report GIT-ICS-87/26, Georgia Institute of Technology, School of Information and Computer Science, Atlanta GA 1987.
- [47] Koton P. Using experience in learning and problem solving. Massachusetts Institute of Technology, Laboratory of Computer Science, Ph.D. Thesis MIT/LCS/TR-441 1989.
- [48] Hinrichs T.R. Problem solving in open worlds. Lawrence Erlbaum Associates 1992.
- [49] Porter B.W., Bareiss E.R. PROTOS: An experiment in knowledge acquisition for heuristic classification task. In *Proceedings of the First International Meeting on Advances in Learning (IMAL)*, Les Arcs, France 1986, 159-74.
- [50] Ashley K.D. Arguing by Analogy in Law: A Case-Based Model. In D.H. Helman (Ed.), *Analogical Reasoning Perspectives of Artificial Intelligence*.

- Cognitive Science, and Philosophy. D. Reidel 1988.
- [51] Rissland E.L., Skala D.B. Combining case-based and rule-based reasoning: A heuristic approach. In, Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence 1989, Detroit, Michigan; IJCAI-89:525-30.
- [52] Sharma S, Sleeman D. REFINER: A Case- Based Differential Diagnosis Aide for Knowledge Acquisition and Knowledge Refinement. In, EWSL 88; Proc. European Working Session on Learning 1988:201-10.
- [53] Keane M. Where's the Beef? The absence of pragmatic factors in theories of analogy 1988. In, ECAI-88:327-32.
- [54] Althoff K.D. Knowledge acquisition in the domain of CBC machine centres: the MOLTKE approach. In, EKWA-89, Third European Workshop on Knowledge-Based Systems, Boos, J., Gaines, B. & Ganascia, J.G. (eds.), 180-95. Paris, July 1989.
- [55] Richter A.M., Weiss S. Similarity, uncertainty and case-based reasoning in PATDEX. In, Automated reasoning essays in honour of Woody Bledsoe. Kluwer R.S. Boyer (ed.) 1991:249-65.
- [56] Aamodt A. A Knowledge intensive approach to problem solving and sustained learning, PhD. Dissertation, University of Trondheim, Norwegian Institute of Technology, May 1991. University Microfilms PUB 92-08460.
- [57] Watson I.D., Abdullah S. Developing Case-Based Reasoning Systems: A Case Study in Diagnosing Buildings Defects. In, Proc. IEE Colloquium on Case-Based Reasoning: Prospects for Applications, Digest No: 1994/057, 1/1-1/3.
- [58] Floyd, CE, Lo JY, Tourassi GD. Case-based reasoning computer algorithm that uses mammographic findings for breast biopsy decisions. American Journal of Roentgenology November 2000; 175: 1347-1352.
- [59] Frize M, Walker R. Clinical decision-support systems for intensive care units using case-based reasoning. Medical Engineering & Physics November 2000; 22: 671-677.
- [60] Omero B, Josue B. Sistema de Apoio à Detecção de Distúrbios e Complicações Metabólicas Relacionadas a Terapia Nutricional. XVII

Congreso Brasileño de Ingeniería Biomédica, Brasil 2000.

- [61] Yang S, Robertson D. A case-based reasoning system for regulatory information. In, Proc. IEE Colloquium on Case-Base Reasoning: Prospects for Applications, Digest No: 1994/057, pp.3/1-3/3.
- [62] Isoft. Case Based Reasoning Package. User's Reference Guide Version 1.7. Chemin de Moulon, France: Isoft, 2000.