

11209  
85



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
HOSPITAL GENERAL "DR. MANUEL GEA GONZALEZ"  
DEPARTAMENTO DE CIRUGIA GENERAL

*CORRELACION ENTRE LAS ECUACIONES DE HARRIS-  
BENEDICT, FLEISCH Y LONG Y LA CALORIMETRIA  
INDIRECTA EN LA DETERMINACION DEL GASTO  
ENERGETICO DE REPOSO*

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE  
*ESPECIALISTA EN CIRUGIA GENERAL*

**P R E S E N T A**

**DR. LEONCIO OBREGON CASANUEVA**

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. EDUARDO CARDENAS LAISON



MEXICO, D. F.

OCTUBRE 2002



3  
1



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



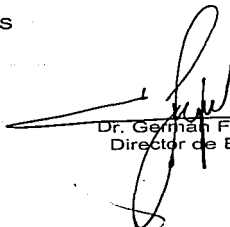
**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AUTORIZACIONES


  
~~Dr. Germán Fajardo Dolci  
Director de Enseñanza~~

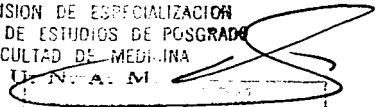
HOSPITAL GENERAL  
"DR. MANUEL GONZALEZ"  
DIRECCION DE ENSEÑANZA

  
Dr. Miguel Ángel García García  
Subdirector de Enseñanza

  
Dra. Ana Flisser Steinbruch  
Dirección de Investigación

  
Dr. Luis Eduardo Cárdenas Lailson  
Asesor de Tesis e Investigador Responsable

  
Dr. José Antonio Palacios Ruiz  
Jefe de la División de Cirugía General y Profesor Titular del Curso

SUBDIVISION DE ESPECIALIZACION  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE MEDICINA  
U.N.A.M.  
  
PALETA DE ORIGEN

**AUTORES:**

**INVESTIGADOR RESPONSABLE:** Dr. Eduardo Cárdenas Laison

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:** Dr. Leoncio Obregón Casanueva

**INVESTIGADORES ASOCIADOS:**

DR. HECTOR MARTINEZ SAID  
DR. JOSE ANTONIO RUY-DIAZ  
DR. JOSE IGNACIO DIAZ-PIZARRO  
DR. VICENTE ALARCON

**CEDE:**

Departamento de Cirugía.  
Clínica de Apoyo Nutricional  
Hospital General "Dr. Manuel Gea González (SSA)  
México, D.F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**DEDICATORIA:**

1. Para Claudia, que es mi amor, mi cómplice y mi todo.
2. A Carlos y Juan Pablo que han llegado a completar la felicidad de mi vida.
3. A mis Papas y Hermanas.
4. A todos mis maestros y amigos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE

Introducción .....	4
Antecedentes .....	6
Historia del Concepto de Energía .....	6
Determinación del Gasto de Energía .....	11
Principios Básicos de la Calorimetría .....	11
Marco de Referencia .....	14
Planteamiento del Problema .....	17
Justificación .....	17
Objetivo .....	17
Hipótesis .....	18
Diseño .....	18
Material y Métodos .....	18
Criterios de Selección .....	19
VARIABLES .....	19
Parámetros de Medición .....	20
Procedimiento de Captación la Información .....	20
Cronograma de Actividades .....	21
Recursos .....	21
Validación de Resultados .....	22
Consideraciones Éticas .....	22
Resultados .....	23
Discusión .....	25
Conclusiones .....	27
Tablas .....	28
Gráficas .....	29
Cuadros .....	36
Apéndice 1 (Hoja de Captura de Datos) .....	38
Bibliografía .....	39

## INTRODUCCIÓN:

La medición del gasto energético (GE) en el enfermo hospitalizado es de gran utilidad para prevenir, mejorar o tratar los estados de desnutrición y para adecuar el aporte calórico según sus condiciones fisiopatológicas. La manera de determinar el GE de un paciente ha sido siempre un gran reto para cualquier clínico, debido a la gran variabilidad de factores que pueden intervenir en esto, (peso, talla, edad, factores de estrés, actividad, etc.). Tradicionalmente se han usado fórmulas, como la de Harris-Benedict (H-B), Long y Fleisch entre otras, que realizan un aproximado del gasto energético. Sin embargo estas fórmulas tienen ciertas limitaciones y aunque se han usado con gran utilidad desde el advenimiento del apoyo nutricional en el paciente, sobre todo en el paciente críticamente enfermo o severamente desnutrido, actualmente se cuestiona la exactitud y el costo de las fallas de estas fórmulas, tanto para el paciente al tener una sobre o una subestimación de sus requerimientos energéticos, como los costos a la institución que proporciona los nutrimentos al paciente, sobre todo cuando se trata de una dieta administrada por vía parenteral.

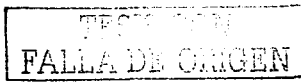
La calorimetría indirecta (CI) es una herramienta que permite determinar con mayor exactitud el Gasto Energético Basal (GEB), de un paciente y tiene la ventaja sobre las fórmulas que no es una vía estática a la cual diversos factores como: ambientales, procesos metabólicos, situaciones de estrés, no pueden ser determinados con exactitud y pueden repercutir de manera importante en el apoyo nutricional del paciente. Aunque los principios de la calorimetría indirecta datan de principios de siglo, hasta las últimas décadas se ha podido iniciar su utilización en la práctica clínica. En la última década se han publicado diversos reportes relacionados con la medición del GE de sujetos bajo diferentes condiciones clínicas. (1,2,3,4,5,6.)

Cuando el paciente se encuentra hospitalizado es importante individualizar sus parámetros metabólicos, por lo que el uso de los calorímetros ha mejorado su manejo nutricional al identificar y cubrir las variaciones en sus necesidades de energía. El uso de la calorimetría indirecta en el apoyo nutricional e investigación clínica se ha transformado en un instrumento insustituible para el cuidado del sujeto hospitalizado y nutricionalmente afectado en el que el GE se encuentra alterado y requiere corrección. Incluso se ha propuesto su uso como parte integral de la evaluación del estado nutricional para ofrecer mayor beneficio y disminuir complicaciones.

Por desgracia, actualmente en nuestro país, el determinar el GE por medio de calorimetría indirecta y lograr un apoyo nutricional adecuado a los pacientes, es posible solo en muy pocas instituciones. Esto es debido, a que se cuenta con muy pocos calorímetros en México. La razón de esto es el costo elevado de estos aparatos. Sin embargo los beneficios otorgados a los pacientes y la reducción de costos al optimizar los nutrientes tal vez valga la pena en que día con día más instituciones fomenten la adquisición de un calorímetro.

TPCIS 0001  
FALLA DE ORIGEN

El motivo de este trabajo, fue realizar un estudio comparativo entre las ecuaciones matemáticas (Harris Benedict, Fleisch y Long) y la Calorimetría Indirecta en la determinación del gasto energético de reposo y con esto poder validar, el poder determinar el gasto energético por medio de las ecuaciones ya mencionadas o el proponer la necesidad imperiosa de utilizar un calorímetro en la determinación del gasto energético en los pacientes críticamente enfermos o severamente desnutridos a los cuales se les brinda apoyo nutricional tanto por vía enteral o parenteral.





## ANTECEDENTES:

### Historia del Concepto de Energía:

El alimento ha sido considerado como fuente energética desde los tiempos primitivos hasta la actualidad. La alimentación además se ha considerado como una de las necesidades prioritarias para el hombre.

El concepto de calor fue propuesto por los primeros escritores griegos, relacionando además al calor con la vida, distinguiendo que un cuerpo inanimado no tiene temperatura, concluyendo con esto a un segundo concepto, que la temperatura es sinónimo de vida. Relacionando además a la alimentación con la fuente de producción de calor o de calor vital lo cual era sinónimo de vida.<sup>(7)</sup>

Platón postuló que el calor vital era un factor importante para la digestión. El lugar principal donde se originaba el fuego interno era el corazón y que los pulmones se encontraban rodeando al corazón trabajando como un amortiguador ya que la respiración enfriaba al corazón.<sup>(8)</sup>

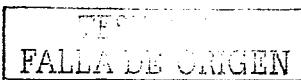
Aristóteles trató el concepto de calor vital como un resultado de la vida. Refirieron que el alma es como si estuviera encendida en fuego. Además Aristóteles creía que el cerebro era la contraparte del corazón y su temperatura.

Galeno en el siglo segundo D.C. generó una doctrina que sintetizaba gran parte de las corrientes filosóficas anteriores. Consideró que el calor interno del cuerpo era de gran importancia. Consideró a los alimentos como combustible para el organismo. Describió además que el contenido grasoso de la grasa servía como una clase de combustible para producir temperatura en los animales con sangre caliente. Galeno introdujo la palabra nutriente. Además escribió que "la comida era para nuestro calor como el aceite para el fuego".<sup>(9)</sup>

Por último Galeno hizo una contribución muy importante para la historia, al decir que la respiración tenía un factor importante en la producción del calor corporal. El hacía una similitud del de la respiración en la producción del calor interno, con el aire necesario para mantener el fuego. Esta contribución aunque un poco primitiva ya introducía el concepto de combustión y de la producción energética a partir de los alimentos.<sup>(10)</sup>

Los filósofos Cristianos de la edad media, trataron de explicar la naturaleza humana reutilizando los principios de Galeno y tratar de comprender la relación entre el calor interno o vital con la respiración, el corazón y la alimentación. Sin embargo el misticismo de aquella época limitaron el desarrollo en este sentido.

No fue hasta que William Harvey, en el siglo XVII, describió la circulación sanguínea al realizar disecciones. Dode describió la circulación sistémica y la pulmonar. Sin embargo no pudo entender el concepto de la circulación capilar. Harvey creyó que el cuerpo se dividía en tres partes: El abdomen, al cual le



atribuyó funciones de nutrición excreción y procesamiento. Refiriéndose al hígado como el órgano mas importante y el origen de la circulación venosa abdominal. Mencionó que los alimentos se introducían al organismo por la boca, llegando al estómago y al intestino y ahí eran absorbidos por la circulación mesentérica hacia el hígado. El segundo componente del organismo era el tórax. Proporcionaba las funciones vitales, manteniendo y distribuyendo el calor y la vida por el organismo. Su principal órgano era el corazón, además de ser la parte mas importante y caliente del organismo. Contenía el calor vital y distribuía el calor a todo el organismo, el cual se iba enfriando al pasar por el aire frio de los pulmones. Además el aire entra por la circulación pulmonar hacia la sangre y proporcionaba elementos para la creación del espíritu vital. La tercera parte importante del organismo era la cabeza, describiendo que ahí se producían las funciones mentales superiores. Posteriormente Harvey trató de explicar la función de cada órgano e introdujo el concepto de que cada órgano tiene una función y cada función tiene un órgano. <sup>(11)</sup>

En el siglo XVII los conceptos biológicos se fueron modificando, dejando atrás la búsqueda de los humores corporales y tratando de entender mejor la fisiología de los órganos. Se inició a introducir en el pensamiento de los fisiólogos que todos los procesos biológicos tenían un principio químico y uno físico, el cual debía de ser encontrado.

Van Helmont fue un médico belga que dedicó gran parte de su vida a realizar experimentos químicos. El recobró gases de diferentes partes del organismo y reconoció que esos diferentes gases tenían diferentes propiedades. El pensaba que el organismo estaba compuesto por "semillas" a las cuales se les agregaba agua y algunas otras sustancias, tal como sucede con las plantas. Dependiendo de las características de cada semilla se liberará un gas determinado. El pensaba que cada sustancia en la naturaleza contaba con su propio gas (El espíritu que le otorga sus características esenciales de ser) <sup>(14)</sup>

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, los filósofos, médicos y químicos se dividieron en dos corrientes: los vitalísticos y los no vitalísticos, al continuar algunos de ellos creyendo en el concepto místico del principio vital y del calor interno. Sin embargo ninguna de las dos corrientes logró llegar a una conclusión si se avanzó en la metodología de estudio, lo que llegó a establecer principios que posteriormente se concretizaron.

El mayor aporte científico de 1750 a 1800 fue el descubrimiento de los elementos gaseosos y sus compuestos. Joseph Black un profesor de medicina de Glasgow, estudió el carbonato de magnesio y de calcio y demostró que esos materiales al oxidarse liberaban gases, que inicialmente le llamó aire mezclado, sin embargo posteriormente se reconoció como bióxido de carbono. El Dr. Black estudio el comportamiento de metales al estar en contacto con diferentes concentraciones de su "aire mezclado". Además demostró que el aire exhalado por la respiración presentaba aire mezclado. Posteriormente a esto se realizaron múltiples estudios con este aire. Priestley realizó estudios con el aire exhalado por la respiración



observándose que no producía combustión, además que después de 4 o 5 veces de ser ciclado en la respiración se producía la muerte.

Lavoisier realizó estudios de combustión con los elementos gaseosos como el carbón y el oxígeno. Observó que posterior a una respiración de un ave, la cuarta parte de el aire exhalada contenía bióxido de carbono. Con esto concluyó que se debía producir una combustión en los pulmones. Y que el calor liberado con esta se debía transmitir a todo el organismo por medio de la circulación. El también creía que el oxígeno gaseoso era un compuesto de oxígeno y calor que era liberado durante el proceso de la combinación del oxígeno con el material que estaba en combustión. En 1783 Lavoisier trabajó con el matemático Laplace para utilizar un calorímetro de hielo similar al usado por Black y puso las bases para los fundamentos de la ciencia de la química térmica. De sus estudios de la respiración, calculó la cantidad de gas intercambiada de un animal y mostró que el calor prededido concordaba con la producción actual de calor medida directamente por el calorímetro. Por lo que escribió:

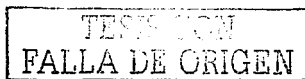
**"La respiración es una combustión, muy lenta pero muy similar a la del carbón; ocurre en el interior de los pulmones sin emitir una luz visible ya que la esencia del fuego que se libera es inmediatamente absorbido por la humedad de estos órganos. El calor desarrollado en esta combustión se comunica por sí mismo a la sangre que atraviesa los pulmones y de ahí se disemina por todo el sistema animal".**

Después de que la composición del agua fue establecida por Cavendish, Lavoisier reconoció en 1785 que parte del oxígeno que se utilizaba en el cuerpo era para formar agua. A partir de 1785 hasta el final de su vida 9 años después, Lavoisier condujo una serie de experimentos con Según para medir la cantidad de oxígeno absorbida por animales y humanos bajo diferentes condiciones. En uno de estos experimentos demostró que se absorbía mas oxígeno cuando la temperatura externa del cuerpo es baja, cuando se ingería comida o particularmente cuando se ejecutaba trabajo físico.

Otro avance biológico al final del siglo XVIII fue el descubrimiento de la fotosíntesis. A partir de los experimentos de Priestlei, Lavoisier sugirió en 1786 que dado que la oxidación convertía la materia vegetal en ácido carbónico y agua la reacción inversa debería de ocurrir en las plantas. El ciclo del carbón en la naturaleza ahora era entendido por el descubrimiento de las plantas como fuente primaria de la vida animal.

Después del descubrimiento de la relación cercana entre la respiración y la combustión, las bases para la calorimetría animal fueron establecidas. Se hizo aparente que la cantidad total de calor producida en una reacción química era la misma sin importar el camino intermedio que la reacción siguiera.

A partir del los experimentos realizados por Boussingault en 1839 para probar la no relación del nitrógeno atmosférico y la nutrición, Carl Voit encontró unos años



después que todo el nitrógeno en el cuerpo venía de los alimentos y que la condición de un equilibrio del nitrógeno podía establecerse cuando el nivel de nitrógeno ingerido se mantenía constante.

A mediados del siglo XIX se determina el principio de la conservación de la energía, ya que a partir de la máquina de vapor de Watt se demostró que el calor podía producir trabajo. En 1865 Voit y Petten Kofler discutiendo sobre la utilización biológica de la energía establecieron: " Así como el carbón que se quema en una caldera mueve una máquina de vapor así lo hacen igual las grasas y carbohidratos mediante su oxidación en el cuerpo a dióxido de carbono y agua proveyendo el poder para nuestro desempeño mecánico" <sup>(12)</sup>

En 1857 Voit demostró que un animal podría ser llevado a lo que el llamó "El equilibrio nitrogenado". Analizando la diferencia entre la cantidad de nitrógeno ingerido y recuperado pareció probable que la excreción de la proteína nitrogenada estaba en la orina y en las heces y que otras fuentes de pérdida eran poco probables. De cualquier forma quedaba por saber si el nitrógeno atmosférico tenía algún intercambio con los compuestos orgánicos del cuerpo. Lavoisier había dicho que el gas nitrógeno no tenía nada que ver con el metabolismo respiratorio. Voit y otros produjeron evidencia adicional demostrando que la urea de la orina animal no era un producto incidental sino una proporción normal de la destrucción proteica. <sup>(9)</sup>

Posteriormente Max Rubner, un discípulo de Voit, construyó un calorímetro y realizó un experimento realizando mediciones del dióxido de carbono expirado y del nitrógeno excretado en orina y heces. Este trabajo fue el que marcó el antecedente para la ley publicada por Hess del calor constante, en la cual se mencionaba que en una reacción química el calor producido o absorbido era siempre el mismo independientemente de la dirección de esta reacción. Rubner mencionó la influencia variable de los alimentos en la producción de energía y encontró que existía una diferencia entre carbohidratos, grasas y proteínas misma que llamó "acción dinámica específica". Estos valores calóricos estándares para estos productos se continúan usando hasta nuestros días. El también introdujo la ley del área corporal, en donde decía que la energía metabólica de cada animal era proporcional al tamaño del área de superficie de este. Rubner también presentó evidencias de que los tres grupos de alimentos fundamentales eran intercambiables en el organismo en relación a su equivalente energético. Además determinó que la temperatura se regulaba por pérdida de calor y factores químicos (producción de calor). Uno de los últimos experimentos de Rubner fue determinar la producción de calor producida por un perro durante 24 hrs. Además calculó la cantidad de calor que el perro producía en estas 24 hrs. a partir de cálculos por los gases exhalados. Cuando comparó la cantidad de calor producida por el animal al determinarla directamente con los cálculos realizados para inferir su producción, encontró una espectacular demostración de la ley de la conservación de la energía. <sup>(12)</sup>

Con relación a este experimento múltiples investigadores reprodujeron su trabajo encontrando resultados similares. El fisiólogo Francis G. Benedict construyó un



equipo en el instituto Carnegie de Boston en le que media simultáneamente los gases del metabolismo y la producción de calor. De estos experimentos se logró construir un calorímetro respiratorio en el cual se determinaría el metabolismo energético en diferentes enfermedades. Con estos experimentos se establecieron y confirmaron los principios generales del metabolismo energético en animales y en humanos. <sup>(15)</sup>

Posterior a estos descubrimientos siguieron múltiples estudios en los que correlacionaban la calorimetría con diferentes estados patológicos, como diabetes, hipertiroidismo, fiebre, etc. y con diferentes sustratos. En los hospitales el uso del calorímetro se utilizó únicamente para la determinación del gasto metabólico basal como un indicador de la función tiroidea, hasta 1950. y para esta época en donde se logró determinar niveles tiroideos séricos y urinarios, la utilización del calorímetro fue relegada. Sin embargo al fabricar Kinney y sus colaboradores el método de Canopia, que era un medio no invasivo y fácil de utilizar.

Posterior a esto se reinició la motivación para realizar estudios clínicos utilizando el calorímetro para determinar diferentes estados del metabolismo energético. Sin embargo los intereses principales en el uso y la investigación en la utilización de los calorímetros con relación a la nutrición se han centrado en el tratamiento de la obesidad, de la desnutrición severa principalmente en estados de gravedad y en lograr una mayor exactitud en la determinación del Gasto energético basal. <sup>(12,13)</sup>



## **DETERMINACIÓN DEL GASTO DE ENERGÍA Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA CALORIMETRIA**

Las reacciones bioquímicas in vivo fluyen en un estado dinámico, y las leyes básicas del equilibrio termodinámico se aplican al metabolismo energético en los seres vivos. Así la energía no puede crearse ni destruirse, solo puede intercambiarse entre el organismo y su ambiente, lo que constituye la Primera Ley de la Termodinámica <sup>(16)</sup> Los factores que se relacionan con las necesidades de energía y que deben considerarse en todo sujeto a quien se le determine su gasto de energía son: edad, sexo, tamaño y composición corporal, temperatura corporal y ambiental, grado de actividad física, estado nutricional y secreción endocrina <sup>(17-18)</sup>

El mantenimiento de las funciones corporales requiere una constante utilización de gasto de energía (GE), que se aprovecha en el trabajo interno a nivel celular y en el externo (contracción muscular) <sup>(20)</sup>. En el hombre, el gasto energético total está determinado por tres apartados que contribuyen a sus demandas calóricas: gasto energético basal, gasto de energía en reposo (el cual está determinado por los procesos de termogénesis) y gasto por actividad física. El gasto de energía basal (GEB), también conocido como tasa metabólica basal (TMB), es la fracción del gasto total de energía que se requiere para mantener los procesos vitales (metabolismo celular, síntesis proteica, balance iónico, actividad nerviosa, cardiovascular, respiratoria, digestiva, endocrina, etc.) y la necesaria para mantener la temperatura corporal. Se define como la cantidad de energía producida por unidad de tiempo y se determina en condiciones de reposo absoluto cuando el sujeto se encuentra recién despertado después de 12 a 14 h de ayuno nocturno (estado postabsorción) y bajo condiciones confortables de temperatura ambiente (18-20°C).

El gasto de energía en reposo (GER) es la cantidad de energía gastada en cualquier circunstancia que no sean las condiciones basales, con el sujeto bajo neutralidad térmica. En condiciones normales, suele ser 10% más elevado que el GEB; el GER se define como la utilización de energía obtenida durante un estado de reposo. La mayor diferencia con el GEB, es que el GER puede incluir efectos por procesos de termogénesis: por lo tanto, el GER puede incluir otros componentes, como estrés y variantes de la temperatura corporal y del ambiente. En la práctica, el GER se mide con mayor frecuencia que el GEB. La termogénesis se ha definido como el gasto de energía por arriba del basal en estado de ayuno y de reposo, y puede incluir desde la ingestión de alimentos hasta la exposición a diversos factores que favorecen el aumento de gasto de energía como la exposición al frío y condiciones de traumatismo, sepsis y fiebre <sup>(17)</sup>. El efecto del consumo de alimentos, también es conocido como termogénesis, inducida por la dieta (TID), incluye dos componentes fundamentales: un proceso obligatorio debido a los costos inevitables de energía relacionados con la digestión, absorción y almacenamiento de substratos, y un componente facultativo que incluye la estimulación del sistema nervioso simpático. Se sabe que la porción de energía gastada por TID corresponde de 6 a 10% del gasto energético total en 24 horas, aunque la mayor cantidad de energía depende de la composición de la fórmula de alimentación y de la cantidad de energía consumida.



El gasto de energía por actividad física (GEAF) es el gasto que resulta del movimiento del músculo esquelético, mas el causado secundariamente por el aumento de la frecuencia cardiaca. Este gasto puede variar de acuerdo con las actividades físicas cotidianas desde un 10% en un sujeto sedentario, inválido o encamado, hasta un 50% en un atleta. <sup>(19)</sup>

La calorimetría directa (CD), es la medición de la producción de calor de un individuo. Esto se logra en una cámara especializada en las cuales sus paredes son capaces de medir la perdida de calor. Este medio de determinar la producción de calor es extremadamente cara y además difícil de realizar por todas sus implicaciones. La calorimetría indirecta (CI), es un método por el cual se determina la cantidad de calor emitida por el organismo mediante la determinación de los gases emitidos por el organismo. Atwater y Benedict demostraron que en una medición de 40 veces diarias en tres sujetos se observaba únicamente una variabilidad del 0.2% de diferencia entre la medición por calorimetría directa y de indirecta de la producción de calor de un individuo.

El valor calórico de cualquier sustancia combustible, incluyendo a los alimentos, es posible determinarla en un aparato llamado calorímetro de bomba. El cual es un cilindro de metal en el cual se introduce un alimento, el cual se oxida completamente en una atmósfera de oxígeno. El calor liberado de esta combustión se determina ya que este está rodeado de agua. La producción de calor se calcula en términos de calorías.

En los organismos vivos, la oxidación de carbohidratos, grasas hacia CO<sub>2</sub> y agua es completa. Sin embargo la oxidación de proteínas es incompleta ya que los productos de degradación de las proteínas es excretado por la orina.

La CI se desarrolló a principios de este siglo como una aplicación de la termodinámica a la vida animal. Este método por el cual se estima el gasto energético a través de las mediciones de consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) y de producción de bióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>). También ofrece información en relación con el tipo y tasa de substrato que se está utilizando in vivo. La fase final del metabolismo de un nutrimento es la producción de calor y por medio de la oxidación la producción de CO<sub>2</sub> y agua. <sup>(20)</sup> En la CI el consumo de oxígeno es el principal determinante del GE, como se ha establecido por la aplicación de la ecuación de Weir <sup>(21)</sup> usada en los principios calorimétricos: **(Cuadro 1)**

El gasto de energía resultante de la CI en un individuo despierto y alerta en periodo de postabsorción es el que refleja el GER, que representa de 75 a 90% del gasto de energía total; el resto corresponde a procesos termogénicos, del ambiente y de la actividad física. En general, la mayor parte de las enfermedades aumentan el GER debido a la liberación de neurotransmisores y mediadores inflamatorios, ciclos ineficaces de substratos y aumento del recambio proteico <sup>(22)</sup>. El cociente respiratorio (CR) es la relación que existe entre el CO<sub>2</sub> que se produce y espira dividido por la cantidad de oxígeno inspirado y consumido. Cuando se

TEMA 10  
FALLA AL ORIGEN

realiza la evaluación del VCO<sub>2</sub> se supone que el sujeto se encuentra en condiciones estables, por lo que todo lo que se obtenga se debe a la utilización de substratos.

La reacción fundamental que evalúa la CI a nivel celular, que a continuación se mencionan:

#### **CARBOHIDRATOS:**

Oxidación de Glucosa:



Cociente respiratorio:

$$6 CO_2 / 6 O_2 = 1.0$$

De esta ecuación el CR o CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> = 1.0. Por lo tanto si 1 mol de glucosa utiliza 134.4 litros de O<sub>2</sub> y libera 673 kcal, cada litro de O<sub>2</sub> utilizado en la oxidación de un carbohidrato liberará 5.01 kcal. (13)

#### **LÍPIDOS:**

Oxidación de un lípido



Cociente respiratorio:

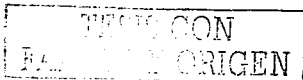
$$110 CO_2 / 157 O_2 = 0.70$$

En esta ecuación el CR es de 0.7. Por lo tanto la oxidación completa de dos moles de grasa, y 16,353 kcal se producirán con la utilización de 3,516.8 litros de O<sub>2</sub>. Entonces cada litro de oxígeno utilizado para oxidar un lípido serán 4.65 kcal. (13)

#### **PROTEÍNAS:**

Oxidación y Cociente Respiratorio de Proteínas

Es más difícil de calcular debido a que la oxidación de las proteínas no es completa, o sea que algunos de sus productos de degradación son excretados por medio de la orina y de las heces. Por lo tanto la oxidación completa de las proteínas puede variar. El CR de la oxidación de las proteínas se encuentra entre 0.80 y 0.82. Debido a que la proteína de la comida contiene un promedio de 16% de nitrógeno, lo que origina que cada gramo de nitrógeno urinario represente 6.25 g de proteína metabolizada. El metabolismo de la cantidad de proteína suficiente para producir 1 g de nitrógeno urinario resulta de la producción de 26.51 kcal. 4.745 litros de CO<sub>2</sub> mientras 5.923 litros de oxígeno son utilizados. (13)





Para la obtención del CR de las proteínas se deben considerar dos apartados: CR no proteico (CRNP) y el CR proteico (CRP). A través de la medición del nitrógeno excretado en orina de 24 horas se puede deducir la cantidad de proteína utilizada como material energético y sustraer la cantidad equivalente de VO<sub>2</sub> y de VCO<sub>2</sub>, obteniéndose así el CRNP que no permite deducir la proporción de grasa y glucosa utilizada por el organismo:

$$\text{CRNP} = \text{VCO}_2 \text{ --- } (4.88 \times \text{NU g}) / \text{VO}_2 \text{ --- } (6.03 \times \text{NU g})$$

El CRNP permite conocer el porcentaje de utilización de sustratos, que abarca un rango desde 0.70 (indicando 100% de utilización de grasa y 0% de utilización de carbohidratos) hasta 1.0 (indicando lo opuesto). Un CRNP de 0.85 indica 50% de oxidación de grasas y 50% de oxidación de carbohidratos. El CR refleja el porcentaje de utilización de grasa y carbohidratos por el organismo, que puede o no coincidir con el porcentaje de estos sustratos administrados exógenamente por la vía oral, enteral o parenteral. <sup>(13, 23)</sup>

## MARCO DE REFERENCIA

La determinación del GE se ha logrado realizar como ya se ha mencionado por medio de la calorimetría ya sea directa o indirecta. Sin embargo inicialmente la utilización de estas vías era únicamente para el uso experimental, por su complejidad de realizarlas y su costo elevado. Por lo anterior surgieron diversas ecuaciones derivadas de los experimentos realizados en estos calorímetros iniciales. Dentro de la práctica clínica se popularizaron diversas ecuaciones dentro las que destacan la de Harris Benedict, Fleisch, OMS y la de Long la cual agrega diversos factores de estrés a la ecuación de Harris Benedict. <sup>(24, 25)</sup>

Recientes estudios han cuestionado la exactitud de determinar el GE por medio de las ecuaciones tradicionales y mas aun cuando se está realizando esto frente aun paciente con alteración en el metabolismo normal, ya que pueden sobrestimar o subestimar la cuantificación del GE.

Se mencionan diversos estados en los cuales la determinación del GE por medio de CI es de suma utilidad ya que la determinación por medio de fórmulas como Harris-Benedict y más aun cuando se utilizan los factores de corrección de estrés propuestos por Long, causan alteraciones importantes que repercuten en la salud del paciente y en el costo de la administración del apoyo nutricional. <sup>(26,27,28)</sup>



Los estados antes mencionados son los siguientes:

- Alteraciones en la composición corporal
  - Sobrepeso
  - Bajo peso
  - Edema periférico
  - Hipoalbuminemia
  - Amputación de alguna extremidad
- Respuesta inapropiada al soporte nutricional estándar
- Dificultad respiratoria
- Estado postoperatorio de órgano transplantado
- Sepsis

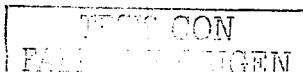
Se han publicado estudios en donde demuestran que la determinación del GE por medio de la ecuación de Harris-Benedict difiere de las estimadas por medio de CI de un 57 a un 154%<sup>(27,29,30)</sup>.

La fórmula de Harris-Benedict es la mas usada para determinar el GE tanto para fines de investigación como en la práctica clínica. Los factores de estrés de Long, también se siguen usando en múltiples centros. Hay estudios donde cuestionan el utilizar estas dos ecuaciones. Jonathan B. Koea y cols. publicaron en 1995, que la determinación del GEB en pacientes sin estrés, en este caso se realizó en pacientes con nutrición parenteral total (NPT) en el hogar en donde observó que los rangos de variación eran pequeños, de  $18.02 \pm 0.41$  contra  $21.37 \pm 0.94$  kcal/kg/día. Esto obteniendo una p no significativamente estadística. Sin embargo al realizar la misma comparación en pacientes con sepsis en terapia intensiva observó que el rango de variación era de  $30.39 \pm 1.77$  contra  $31.3 \pm 1.23$  kcal/kg/día dando esto una p < 0.5 siendo esto estadísticamente significativo.<sup>(31)</sup>

En otro estudio realizado por Jill Donaldson-Andersen y publicado en febrero de 1998, en donde evaluó los requerimientos energéticos en pacientes críticamente enfermos por medio de CI y de la ecuación de Harris-Benedict agregando los factores de estrés, concluyen que al determinar el GE por medio de esta vía se sobre estima significativamente los requerimientos energéticos cuando se comparan al determinarlos con CI.<sup>(32)</sup>

De igual manera otros estudios revelan una pobre correlación, estadísticamente significativa, entre la calorimetría indirecta con la determinación del GE por calorimetría.<sup>(32,33,34,35,36)</sup>

Las repercusiones que tiene una determinación ineficaz del GE en un paciente severamente enfermo, como lo son pacientes con Sepsis abdominal, fistulas abdominales complejas, pancreatitis aguda severa, etc. Tienen dos aspectos de suma importancia. Primeramente cuando se subestima importantemente la cantidad de energía requerida el paciente entra o se perpetua su estado de catabolismo, requiriendo de utilizar substratos como los proteicos para satisfacer



las necesidades básicas del organismo. Esto además de ser vías energéticamente ineficaces por el alto costo energético que esto ocasiona, produce un estado catabólico con pérdida de masa muscular, peso, disminución en la función inmunitaria, etc. que aparte de desnutrir al paciente hace más difícil su recuperación de su patología de base y lo hace susceptible en mayor forma a tener mas complicaciones, como las infecciosas.

Por otro lado cuando se sobre estiman los requerimientos energéticos y se hiperalimenta al paciente ocasiona en primer lugar, desperdicio de los nutrimentos empleados. Pero con mas importancia esto le ocasiona también un costo energético al organismo, ya que para poder almacenar y utilizar una carga excesiva de nutrientes, el organismo tiene que utilizar energía para su procesamiento.

El sobre alimentar a un paciente, ocasiona complicaciones importantes en el organismo, principalmente hepáticas (degeneración grasa, fibrosis portal, infiltrados periportales, colestasis, etc.) y pulmonares. Que aunque la explicación exacta de las causas de los daños hepáticos no se ha esclarecido dentro de las explicaciones se encuentra el exceso de aporte calórico. <sup>(37,38)</sup>

Se han propuesto ciertos puntos para poder validar estadísticamente las ecuaciones de medición del Gasto energético: <sup>(39)</sup>

1. Realizarlo en un mínimo de 50 pacientes.
2. Medir todas las variables de predicción en los rangos marcados.
3. No ser aplicado en los pacientes restringidos para esa forma.
4. El resultado del valor  $r^2$  (factor de Correlación) debe ser de por lo menos 0.4.
5. Presentar un resumen del resultado del error de predicción (para asegurarse de que no hay ninguna desviación hacia la sobrestimación o subestimación).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Existe correlación entre la predicción del Gasto Energético de Reposo, al determinarlo por medio de ecuaciones (Harris-Benedict, Long y Fleisch) y por medio de calorimetría indirecta?

## **JUSTIFICACIÓN**

Uno de los puntos importantes del éxito en la recuperación de un paciente es proporcionarle un estado nutricional adecuado, administrándole la cantidad de energía (Kcal) apropiadas para su organismo. La sobre-alimentación y la sub-alimentación, puede tener efectos que exacerbe el compromiso médico y nutricional.

La calorimetría indirecta se considera el estándar de oro para calcular la determinación del GE.<sup>(31,39)</sup> El uso de ecuaciones para calcularlo se ha cuestionado en múltiples ocasiones ya que se ha encontrado una gran variabilidad. Esta gran variabilidad es la razón de que se hallan desarrollado mas de 200 ecuaciones para la determinación del GE. Sin embargo ninguna de estas ecuaciones ha logrado establecer una correlación exacta en todos los pacientes.

El determinar el GE por medio de CI esta limitado únicamente por el costo elevado de emplear esta tecnología, sin embargo existen múltiples reportes que mencionan una pobre correlación de la determinación del GE al determinarlo con ecuaciones matemáticas teniendo una variabilidad de un 57 a un 154%, sobre todo en pacientes críticamente enfermos o con desnutrición importante. Estas variaciones ocasionan que el aporte energético del paciente sea deficiente. Repercutiendo importantemente en la recuperación del paciente.

El tener una pobre correlación en la determinación del GE, justifica la inversión de un calorímetro para el beneficio de nuestros pacientes.

## **OBJETIVO**

Determinar la correlación en la determinación del Gasto Energético de Reposo por medio de las ecuaciones de Harris-Benedict, Long y Fleisch y por medio de Calorimetría Indirecta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **HIPÓTESIS**

La determinación del gasto energético de reposo por medio de las ecuaciones de Harris-Benedict, Fleisch y Long no tienen correlación al ser determinadas por medio de calorimetría indirecta.

## **HIPÓTESIS DE NULIDAD**

La determinación del gasto energético de reposo por medio de las ecuaciones de Harris-Benedict, Fleisch y Long sí tienen correlación al ser determinadas por medio de calorimetría indirecta.

## **DISEÑO**

Se trata de un estudio descriptivo, abierto, observacional, prospectivo y transversal.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### Universo de Estudio:

Se estudiaron de manera prospectiva, 50 pacientes ingresados al Departamento de Cirugía General del Hospital General "Dr. Manuel Gea González" en el periodo comprendido del 30 de Noviembre de 1996 al 30 de marzo de 1998. Todos estos pacientes se encontraban recibiendo apoyo nutricional y se les determinó su Gasto energético de Reposo por medio de Calorimetría Indirecta y por medio de las ecuaciones de Harris-Benedict, Long y Fliesch.

### Tamaño de la Muestra:

50 pacientes <sup>(40)</sup>

Se requirieron 114 determinaciones del GER para lograr intervalos de confianza del 95%.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CRITERIOS DE SELECCIÓN:**

### **Criterios de Inclusión:**

Pacientes ingresados al Departamento de Cirugía General del Hospital General "Dr. Manuel Gea González", que se encuentren en la Clínica de apoyo nutricional y a los cuales se les determine el Gasto Energético Basal por medio de Calorimetría Indirecta y con las fórmulas Harris-Benedict, Long y Fleisch.

### **Criterios de Exclusión:**

Pacientes que se encuentren con apoyo ventilatorio  
Pacientes a los cuales no se les pudiera realizar alguna de las pruebas de determinación del gasto energético de reposo.

## **VARIABLES**

### **Independientes.**

- a) Edad
- b) Sexo
- c) Talla
- d) Peso

### **Dependientes.**

- a) Gasto energético de reposo por Ecuación de Harris-Benedict
- b) Gasto energético de reposo por ecuación de Fleisch
- c) Gasto energético de reposo mas los factores de Estrés. (Ecuación de Long)
- d) Cociente Respiratorio proteico
- e) Cociente Respiratorio no proteico
- f) Patología de Base

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PARÁMETROS DE MEDICIÓN

### Variables Independientes:

- a) Edad (INTERVALO)
- b) Sexo (NOMINAL, DICOTOMICA)
- c) Talla (INTERVALO)
- d) Peso (INTERVALO)

### Variables Dependientes:

- a) Gasto energético de reposo por Ecuación de Harris-Benedict (INTERVALO, CONTINUA)
- b) Gasto energético de reposo por ecuación de Fliesch (INTERVALO, CONTINUA)
- c) Gasto energético de reposo mas los factores de Estrés, (Ecuación de Long) (INTERVALO, CONTINUA)
- d) Cociente Respiratorio proteico (ORDINAL)
- e) Cociente Respiratorio no proteico (ORDINAL)
- f) Patología de Base (NOMINAL, POLITOMICA)

## PROCEDIMIENTO DE CAPTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez determinando el paciente candidato para el estudio, se realizaron las mediciones necesarias para poder determinar el gasto energético de reposo con las ecuaciones de Harris-Benedict, Fleisch. Se determinó el factor de estrés en el cual se encontraba sometido el paciente (cuadro 4) y se multiplicó por el resultado de la ecuación de Harris-Benedict, para obtener el gasto de acuerdo a la ecuación de Long. Posteriormente se realizó la calorimetría indirecta. Para realizar esta se recolectó de orina de 24 hrs. del día previo determinándose la excreción de nitrógeno urinario y el balance nitrogenado. Con esto se determinó el coeficiente respiratorio no proteico (CRNP).

La CI se realizó de la siguiente manera. Colocándose al paciente en decúbito dorsal y posteriormente cubriéndose con la Canopia y se inicia la medición automática durante 10 minutos, lo que es suficiente para tener una medición confiable.<sup>(26)</sup> Previo llenado de datos del paciente a la computadora del aparato, se tomó para el estudio únicamente el valor promedio y extrapolándose a 24 hrs. Para determinar el gasto energético de reposo. También se determinó el cociente respiratorio proteico y no proteico.

IMPRESO CON  
FALLA DE ORIGEN

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A C T I V I D A D E S	1	X																							
	2		X	X																					
	3			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	4																		X	X					
	5																					X			
	6																							X	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Meses																							

## RECURSOS

### Recursos Humanos.

Dr. Eduardo Cárdenas Laison	1 Hora a la semana
Dr. Leoncio Obregón Casanueva	3 Horas a la semana
Dr. Ignacio Díaz Pizarro	3 Horas a la semana
Dr. José Antonio Ruy-Díaz	1 Hora a la semana
Dr. Héctor Martínez Saíd	1 Hora a la semana

### Recursos Materiales.

Calorímetro Daltrec II Datex  
 Computadora 486 33 Mhz, Programas Microsoft Word 6.0, Microsoft Excel.  
 Material de oficina

### Recursos financieros.

No se requieren

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



## **VALIDACIÓN DE RESULTADOS**

Se utilizó estadística descriptiva para analizar el porcentaje de variabilidad, así como media y desviación estándar.

Además se correlacionaron las ecuaciones matemáticas con los resultados de CI por medio de ANOVA y T de Student. Admitiéndose un valor  $p < 0,05$

También se utilizó el factor de correlación ( $r^2$ ) donde se admitió un mínimo de 0.4.

## **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

Todos los procedimientos están de acuerdo con lo estipulado en el reglamento de la ley General de Salud en materia de investigación para la salud, título segundo, capítulo I, artículo 17: Investigación sin riesgo.

TRABAJO CON  
FALLA DE ORIGEN

## RESULTADOS

Se estudiaron 50 pacientes (31 hombres y 19 mujeres). Con una edad promedio de  $39.8 \pm 14.4$  años de edad. Todos ellos se encontraban bajo apoyo nutricional (enteral, parenteral o mixto) e internados en Departamento de Cirugía General del Hospital General "Dr. Manuel Gea González", en el periodo comprendido del 30 de Noviembre de 1996 al 30 de Marzo de 1998.

Los diagnósticos de estos pacientes fueron: Pancreatitis Aguda Severa 12 (24%), Fístula Entero-cutánea 20(40%), Sépsis Abdominal 5(10%) Infección de tejidos blandos 2(4%), Cáncer Gástrico 2 (4%) Otros 9 (18%). El número de determinaciones se enumeran en la **Tabla 1 y Gráfica 1**.

A los 50 pacientes se les realizó de 1 a 11 determinaciones del GER por medio de las 3 ecuaciones matemáticas (H-B, Fleisch y Long) y por medio de Calorimetría indirecta. En total se realizaron 166 determinaciones. Posteriormente se compararon los resultados de las 3 ecuaciones con los obtenidos por medio de CI. Se determinó el porcentaje de variabilidad y la distribución de esta variabilidad (desviación estándar). También se determinó el factor de correlación ( $r^2$ ) en las 3 ecuaciones. Finalmente se determinó si existían diferencias estadísticas aplicando las pruebas ANOVA y T de Student.

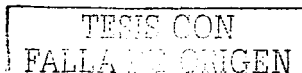
### **Comparación en la medición del gasto energético de reposo por medio de la ecuación de Harris-Benedict y de calorimetría indirecta.**

La variabilidad entre las dos determinaciones fue en promedio de  $-3.86 \pm 14.33\%$ . Las mediciones variaron de un  $-42$  a un  $36.3\%$ . Esta variabilidad, sin embargo formó una curva de distribución normal. En 111 determinaciones (66.86%), la diferencia fue menor al 15% entre las dos determinaciones. (**Gráfica 2a**)

Al determinar el factor de correlación se encontró un valor de 0.77 (**Gráfica 2b**). Además, se encontró una diferencia estadísticamente significativa, entre estas dos formas de determinar el GER, al aplicar la prueba de ANOVA y T de Student con una  $p < 0.0001$ .

### **Comparación en la medición del gasto energético de reposo por medio de la ecuación de Long y de calorimetría.**

Se demostró una diferencia entre estas dos formas de determinar el gasto energético de reposo en un  $56.48 \pm 34.05\%$  en promedio. La variabilidad osciló de  $-31.46$  a  $145\%$ . La curva de distribución no se comportó de manera normal, ya que 162 (97.6%) de las determinaciones realizadas por medio de la ecuación de Long sobrealvaron a la estimada por calorimetría. Solo 21 determinaciones (12.6%) tuvieron menos del 15% en su variabilidad. (**Grafica 3a**)



La correlación determinada fue de 0.6 (**Gráfica 3b**) y se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre estas dos formas de determinación del GER obteniéndose una  $p < 0.0001$ .

**Comparación en la medición del gasto energético de reposo por medio de la ecuación de Fleish y de calorimetría.**

Se observó una diferencia de  $-6.14 \pm 14.42\%$ . Teniendo un rango de variación de  $-44.62$  a  $31.82\%$ . Las diferencia de Fleish y CI formó una curva de distribución normal. 120 determinaciones (72%), tuvieron una diferencia menor al 15%. (**Gráfica 4a**)

Se encontró entre estas dos vías de determinación del GER una diferencia estadísticamente significativa con una  $p < 0.0001$  (**Gráfica 4b**). Además una correlación de 0.75.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## DISCUSION:

El propósito de este estudio fue determinar si las ecuaciones matemáticas (H-B, Fleisch y Long) tenían una buena correlación con la CI al determinar el GER. Esto con la finalidad de inferir si podríamos seguir utilizando estas ecuaciones en la práctica clínica o es de suma importancia la adquisición de un calorímetro en toda institución para poder conocer el GER de nuestros pacientes, principalmente en los críticamente enfermos o severamente desnutridos.

La ecuación de H-B la cual fue la primera en desarrollarse y además una de las mas usadas en la práctica clínica es sin duda también la mas cuestionada para su uso. Se argumenta que esta se desarrolló a principios de siglo en sujetos voluntarios sanos y la muestra es muy diferente a los pacientes críticamente enfermos. Debido a esto se han realizado modificaciones a la fórmula, agregándole diversos factores para acoplarla a diversos estados patológicos, como los factores de estrés, o bien se han desarrollado muchas mas fórmulas matemáticas, ya pensando en diversos estados patológicos. La búsqueda de una fórmula ideal, nos ha llevado en desarrollar mas de 200 ecuaciones matemáticas.<sup>(39)</sup> El desarrollo de tantas fórmulas nos indica que no hay ninguna que satisfaga todos los requerimientos. El gran problema del cálculo del GE por medio de ecuaciones matemáticas es que el cálculo energético se hace de manera lineal, y los requerimientos energéticos en un organismo es un proceso variable, el cual cambia día a día, dependiendo de una gran variabilidad de factores, tanto propios del organismo como debido a la manipulación que se le proporciona al organismo con su cuidado (medicamentos, nutrición, ventilación, agresión quirúrgica, etc)

Debido al desarrollo de los calorímetros de uso comercial y disponibles en cualquier unidad hospitalaria, se han realizado estudios en los que se compara el cálculo del gasto energético por medio de formulas matemáticas y por medio de CI. En prácticamente todos los estudios se demuestra que hay una pobre correlación entre ambas. Esto se hace mas evidente en estados críticos, como son en pacientes sépticos, obesos o desnutridos o con alteraciones importantes en el metabolismo. Heshka y col<sup>(42)</sup> Observó que H-B sobrestima el GE de 5 a 15%. Donaldson-Andersen<sup>(32)</sup> en un estudio realizado con 24 pacientes con trauma severo, reporta que la determinación del GEB por medio de Harris Benedict, con o sin los factores de estrés, sobrestiman a lo determinado por calorimetría. Velázquez Alva et al<sup>(41)</sup> en su estudio de 54 pacientes geriátricos encontraron diferencias estadísticamente significativas en la predicción del GEB por medio de H-B. Carol S. Ireton-Jones, también realizaron un estudio donde se comparaba tanto la ecuación de H-B como la ecuación de Ireton-Jones con la CI en donde se encontró una correlación de  $r^2=0.6$  y  $r^2=0.69$  respectivamente.

Estos artículos, corresponden con este estudio, en el cual mostramos que la determinación del GER por medio de H-B, Fleisch o Long, tienen una variabilidad importante con diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.0001$ ).



Otros estudios muestran que la variabilidad en la determinación del GER por medio de H-B y CI sólo tiene diferencia estadísticamente significativa cuando se determina en pacientes graves. Jonathan B Korea <sup>(31)</sup> reporta que no existe diferencia cuando el GER se determina en pacientes con Nutrición Parenteral total ambulatoria, sin embargo cuando se determina en pacientes sépticos con un valor APACHE mayor a 10 la diferencia sí fue significativamente importante con una  $p < 0.006$ .

La Ecuación de Harris-Benedict fue la que menor variabilidad tuvo ( $-3.86 \pm 14.33\%$ ) y fué la que mejor correlación tuvo (0.77). La ecuación de H-B con los factores de corrección de Long fue la que mayor variabilidad tuvo ( $56.48 \pm 34.05\%$ ) y la que menor correlación tuvo ( $r^2 = 0.6$ ). Además de esta gran variabilidad se evidenció que en el 97.6% presentan una sobrestimación la cual llega a ser hasta del 145%. La determinación del GER por medio de la ecuación de Fleisch mostró también una variabilidad del  $-6.14 \pm 14.42\%$  y se obtuvo una correlación de 0.75.

Al analizar los resultados de las tres ecuaciones con lo obtenido por medio de CI se encontraron diferencias estadísticamente significativas por medio de ANOVA y T de Student ( $p < 0.0001$ ).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES:

1. La determinación del GER por medio de las ecuaciones H-B, Fleisch y Long son diferentes con valores estadísticamente significativos ( $p < 0.0001$ ) al compararse con la determinada por CI.
2. La ecuación que menor diferencia tiene con relación a la CI es la ecuación de H-B y es la que mejor correlación muestra ( $r^2 = 0.77$ ).
3. Al utilizarse los factores de corrección de Long en la ecuación de H-B se sobrestima en el 97.6% a lo estimado por CI, siendo esto hasta de 145%. Esta ecuación es la que menor correlación tiene de las 3 ( $r^2 = 0.6$ ).
4. Es recomendable realizar la determinación del GER por medio de CI ya que la gran variabilidad que presentan las ecuaciones puede ser perjudicial para los pacientes, sobre todo en pacientes críticamente enfermos o severamente desnutridos. El determinar el GER por medio de ecuaciones matemáticas puede incrementar innecesariamente los costos del apoyo nutricional cuando se sobrestiman los requerimientos calóricos además de que se pueden ocasionar daños al paciente por la misma razón.
5. Si se requiere la utilización del GER por medio de ecuaciones matemáticas, recomendamos el uso de la ecuación de H-B ya que es la que menor variabilidad y mejor correlación tiene. De igual manera no recomendamos que se apliquen los factores de corrección de Long ya que en el 97.6% de los pacientes se sobrestiman los requerimientos calóricos.
6. Encontramos que en las tres ecuaciones matemáticas se encuentra una correlación adecuada ( $p^2 > 0.4$ ), sin embargo presentan una variabilidad importante lo que las hace ser diferentes con valores estadísticamente significativos con una  $p < 0.0001$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

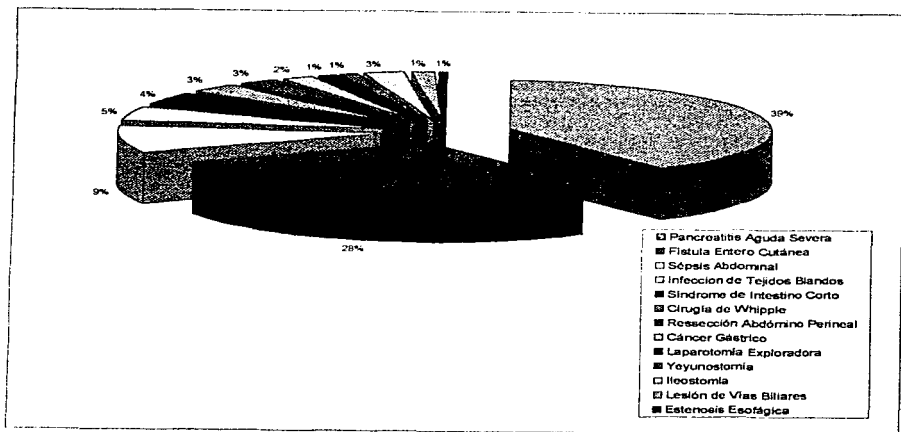
**Tabla 1**

Tabla de Diagnósticos y Número de determinaciones del Gasto Energético de Reposo.

DIGANGOSTICO	DETERMINACIONES	PORCENTAJE
PANCREATITIS AGUDA SEVERA	66	39.7
FISTULA ENTERO CUTANEA	46	27.7
SEPSIS ABDOMINAL	15	9.0
INFECCION DE TEJIDOS BLANDOS	8	4.8
SINDROME DE INTESTINO CORTO	7	4.2
CIRUGIA DE WHIPPLE	5	3.0
RESECCION ABDOMINO PERINEAL	4	2.5
CANCER GASTRICO	3	1.8
LAPAROTOMIA EXPLORADORA	2	1.2
YEYUNOSTOMIA	2	1.2
ILEOSTOMIA	4	2.5
LESION DE VIAS BILIARES	2	1.2
ESTENOSIS ESOFAGICA	1	0.6
ESTENOSIS DUODENAL	1	0.6
TOTAL	166	100

Gráfica 1.

### Diagnósticos

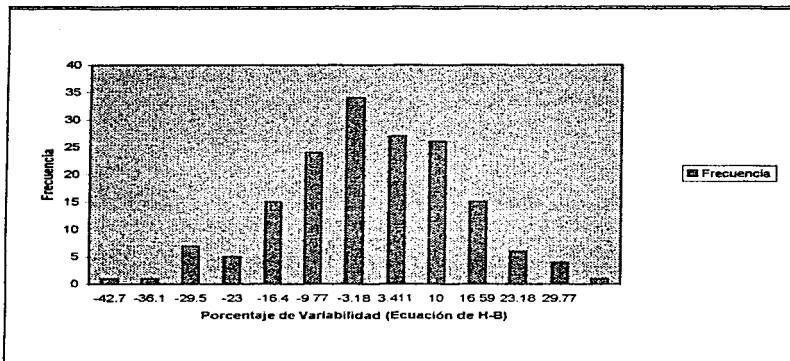


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### Gráfica 2a

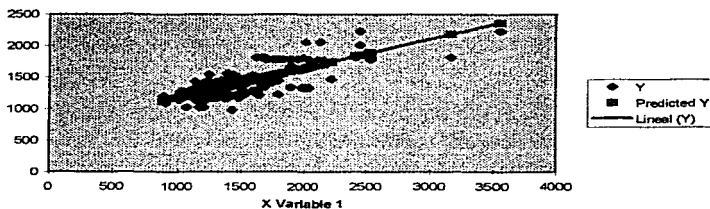
Distribución del porcentaje de variabilidad en la determinación del GER por medio de la ecuación de H-B y por medio de CI.



SEÑALADO CON  
FALLA DE ORIGEN

### Grafica 2b

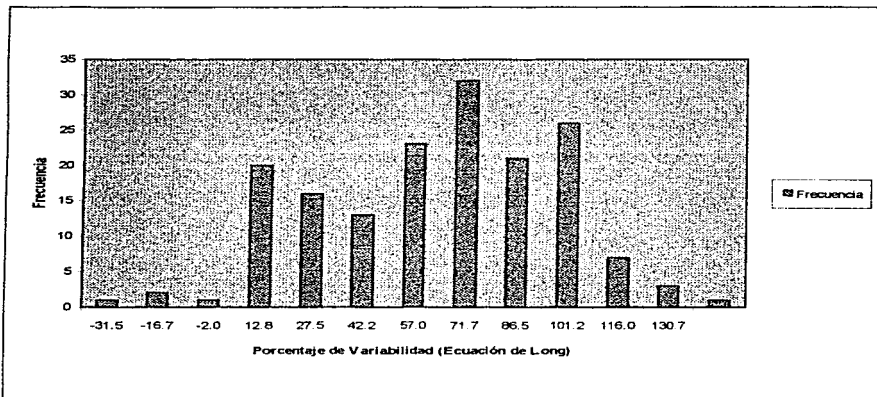
Correlación ( $r^2$ ) Entre la ecuación de Harris-Benedict y la Calorimetría Indirecta en la determinación del gasto energético basal.



TEXTO CON  
FALLA DE ORIGEN

### Gráfica 3a

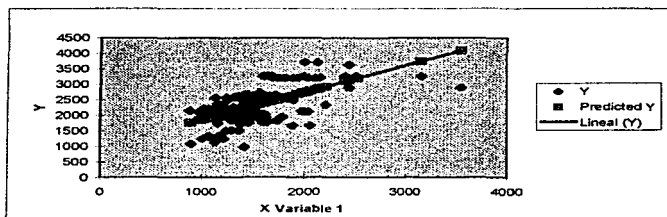
Distribución del porcentaje de variabilidad en la determinación del GER por medio de la ecuación de Long y por medio de Calorimetría Indirecta.



TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

### Gráfica 3b

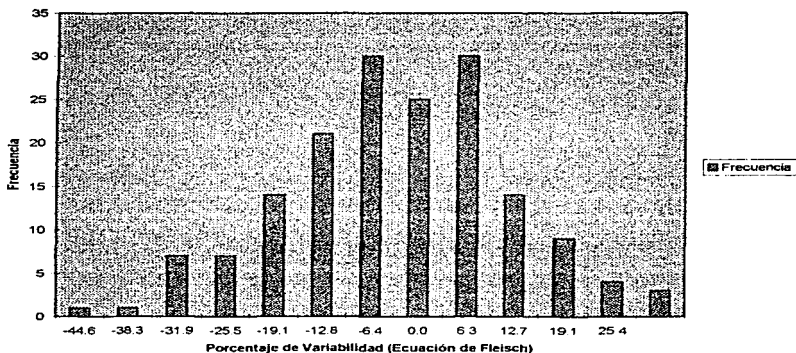
Correlación ( $r^2$ ) Entre la ecuación de Long y la Calorimetría Indirecta en la determinación del gasto energético basal.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Gráfica 4a

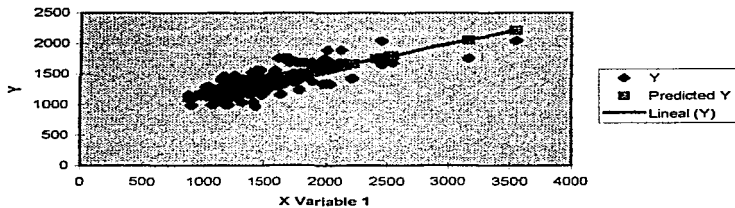
Distribución del porcentaje de variabilidad en la determinación del GER por medio de la ecuación de Fleisch y por medio de Calorimetría Indirecta.



CON  
FALLA DE ORIGEN

#### Grafica 4b

Correlación ( $r^2$ ) Entre la ecuación de Fliesch y la Calorimetría Indirecta en la determinación del gasto energético basal.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CUADRO 1

### Ecuación de Weir: (21)

$$GE = 0((3.94 \times VO_2) + (1.11 \times VCO_2))$$

GE = Gasto Energético  
VO<sub>2</sub> = Volumen de Oxígeno  
VCO<sub>2</sub> = Volumen de Bióxido de Carbono

## CUADRO 2

### Ecuación de Harris-Benedict: (15)

$$\begin{aligned} GEB \text{ Hombres} &= 66.47 + (13.75 \times P) + (5.0 \times T) - (6.76 \times E) \\ GEB \text{ Mujeres} &= 655 + (9.56 \times P) + (1.85 \times T) - (4.68 \times E) \end{aligned}$$

GEB = Gasto Energético Basal  
P = Peso  
T = Talla  
E = Edad

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### CUADRO 3

#### Ecuación matemática desarrollada por Fliesch: (40)

Sexo	Edad (años)	Gasto Energetico Basal (24 horas)
Hombre	1 - 12	$24 \times \text{ASC} \times (54 - 0.855 \times \text{edad})$
Hombre	13 - 19	$24 \times \text{ASC} \times ((2.5 - 0.643 \times (\text{edad} - 13)))$
Hombre	20 - 99	$24 \times \text{ASC} \times ((38 - 0.073 \times (\text{edad} - 20)))$
Mujer	1 - 10	$24 \times \text{ASC} \times ((54 - 1.045 \times \text{edad}))$
Mujer	11 - 19	$24 \times \text{ASC} \times ((42.5 - 0.778 \times (\text{edad} - 11)))$
Mujer	20 - 90	$24 \times \text{ASC} \times ((35.5 - 0.064 \times (\text{edad} - 20)))$

**ASC = Area de Superficie Corporal (Fórmula de DuBois)**

### Cuadro 4

#### Ecuación de Harris Benedict con los factores de corrección de Long: (25)

GEB x 1.3	Pacientes sin estrés
GEB x 1.4	Pacientes con mínimo estrés; enfermedad intestinal inflamatoria, cáncer, cirugía electiva, trauma esquelético moderado.
GEB x 1.5	Pacientes con estrés moderado; cirugía ortopédica, sepsis, quemaduras, cirugía ortopédica mayor.
GEB x 1.6	Pacientes con estrés severo; trauma múltiple, sepsis, cirugía multisistémica.
GEB x 1.7	Pacientes con estrés extremo; Traumatismo craneal severo, enfermedad respiratoria aguda, quemaduras, sepsis
GEB x 2.1	Quemaduras mayores.

**GEB = Gasto Energético Basal**

TRABAJO CON  
FALLA DE ORIGEN



## APENDICE 1

### HOJA DE CAPTURA DE DATOS

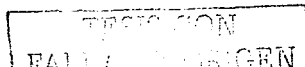
NO. PACIENTE _____	NO. CALORIMETRIA _____
NOMBRE _____	
EDAD _____ (años)	SEXO _____ (masc. / fem.)
TALLA _____ (cm)	PESO _____ (kg)
<b>GASTO ENERGÉTICO DE REPOSO:</b>	
HARRIS-BENEDICT _____	Kcal / 24 hrs.
FLIESCH _____	Kcal / 24 hrs.
LONG _____	Kcal / 24 hrs.
CALORIMETRIA _____	Kcal / 24 hrs.
COCIENTE RESPIRATORIO PROTEICO _____	
COCIENTE RESPIRATORIO NO PROTEICO _____	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA:

1. Stephen A, McClave MD, Harvy L. Use of indirect calorimetry in clinical nutrition. NCP 1992;7:207-301.
2. Cunningham JJ. Factors contributing to increased energy expenditure in thermal injury: a Review of studies employing indirect calorimetry. JPEN 1990;14:649-56.
3. Burztein S, Elwyn DH, Askanazi J. Energy metabolism and indirect calorimetry in critically ill injured patients. Acute Care 1988;88:14-15,91-110.
4. Burztein S, Elwyn DH, Askanazi J. Energy metabolism, indirect calorimetry, and nutrition. Baltimore: Williams & Wilkins, 1989:64-5,219-23.
5. Olevitch RL, Bowers MB, De Oreo BP. Measurement of resting energy expenditure via indirect calorimetry among adult hemodialysis patients. J Renal Nut 1994;4:192-7.
6. Cortes V, Nelson L. Errors in estimating energy expenditure in critically ill surgical patients. Arch Surg 1989;124(3):287-90.
7. Mendelsohn, E.: Heat and Life: The Development of the Theory of Animal Heat. Cambridge, Harvard University Press, 1964, pp.1-7.
8. Mendelsohn, E.: Heat and Life: The Development of the Theory of Animal Heat. Cambridge, Harvard University Press, 1964, pp. 8-26.
9. Leicester, H.M.: Development of Biochemical Concepts from Ancient to Modern Times. Cambridge, Harvard University Press, 1974, pp.5-24.
10. Lyons, A.S., Petrucelli, R.J.: Medicine: An Illustrated History. New York, Harry N. Abrams, Inc., 1978, p.251.
11. Ferank, R.G., Jr.: Harvey and the Oxford Physiologist. Berkeley, University of California Press, 1980, pp.1-9.
12. Elkana, Y.: The Discovery of the Conservation of Energy. Cambridge, Harvard University Press, 1974, pp.1-3.
13. Shils ME. Modern Nutrition in Health and Disease. Lea & Febiger, 1988, pp.516-531.
14. Cathcart, E.P.: The early development of the science of nutrition. In Biochemistry and Physiology of nutrition, Vol1. (Bourne, G.H., Kidder, G.W., Ed.) New York, Academic Press, 1953, p.1.
15. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Washington: Carnegie Institute, 1919:publication 279.
16. Ferranini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a Review. Metabolism 1988;37(3):287-301.
17. Cunningham JJ. Body composition and resting metabolic rate: the myth of feminine metabolism. Am J Clin Nutr 1982;36:721-6.
18. Webb P. Energy expenditure and fat-free mass in men and women. Am J Clin Nutr 1981;34:1816-26.
19. Velázquez Alva MC. Medición del gasto de energía por calorimetría indirecta en el paciente hospitalizado. Nut Clin 1998;1(1):15-22.
20. Stephen A, McClave MD, Harvy L. Use of indirect calorimetry in clinical nutrition. NCP 1992;7:207-30.
21. De V Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference of protein metabolism. J Physiol (Long) 1949;109:1-12.

22. Cunningham JJ. Factors contributing to increased energy expenditure in thermal injury: a review of studies employing indirect calorimetry. JPEN 1990;14:649-56.
23. Mullen JL. Indirect calorimetry in critical care. Proceed Nutr Soc. 1991;50:239-244.
24. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington, Publication no.279,1919.
25. Long CL, Schaffel N Geiger JW, et. al. Metabolic response to injury and illness: estimation of energy and protein needs from indirect calorimetry and nitrogen balance. JPEN 1979;3:452-6.
26. Cunningham K, Aeberhardt LE, Wiggs BR, Phang PT. Appropriate Interpretation of Indirect Calorimetry for Determining Energy Expenditure of Patients in Intensive Care Units. Am J Surg. 1994;167:547-549.
27. Foster GD, Knox LS, Dempsey DT, Mullen JL. Caloric requirements in total parenteral nutrition. J Am Coll Nutr. 1987;6:231-253.
28. Porter C, Neal H, Cohen NH. Indirect calorimetry in critically ill patients: Role of the clinical dietitian in interpreting results. J Am Diet Assoc. 1996;96:49-57.
29. Mullen JL. Indirect calorimetry in critical care. Proceed Nutr JAMA. 1980;243:1444-47.
30. Liggett SB, Renfro AD. Energy expenditures of mechanically ventilated nonsurgical patients. Chest. 1990;98:682-686.
31. Koea J, Wolfe RR, Shaw JHF. Total energy expenditure during total parenteral nutrition: Ambulatory patients at home versus patients with sepsis in surgical intensive care. Surgത്യ. 1995;118 (1):54-62.
32. Donaldson-Andersen Jill, Fitzsimmons L. Metabolic Requirements of the Critically Ill, Mechanically Ventilated Trauma Patient: Measured Versus Predicted Energy Expenditure. NCP. 1998;13(1):25-31.
33. Wang TL, Huang SL, Chen MF. The use of indirect calorimetry in critically ill patients-the relationship of measured energy expenditure to injury severity score, septic severity score, and APACHE II score. J. Trauma 1993;34:247-51.
34. Swinamer DL, Grace MG, Hamilton SM, et al. Predictive equation for assessing energy expenditure in mechanically-ventilated critically ill patients. Crit Care Med 1990;18:657-61.
35. Noore R, Najarian MP, Konvolinka CW. Measured energy expenditure in severe head trauma. J Trauma 1989;29:1633-6.
36. Gadsisseux P, Wark J, Young H. Nutrition and the neurosurgical patient. J. Neurosurg 1984;60:219-32.
37. Boncompain MG, Claudel LP, Gaussorgues P, Salord F, Sirodot M, Chevallier M, Robert D. Hepatic Cytolytic and Cholestatic Changes related to a Change of Lipid Emulsions in Four Long-Term Parenteral Nutrition Patients With Short Bowel. JPEN 1992;16(1):78-82.
38. Buzby JP, Mullen JL, Stein TP, et al: Manipulation of TPN caloric substrate and fatty infiltration of the liver. J Surg Res 1981;31:46-54.
39. Caron S, Ireton-Jones. Should Predictive Equations or Indirect Calorimetry Be Used to Design Nutrition Support Regimens? NCP 1998;13:141-45.
40. Fliesch A. Le metabolisme basal standard et sa determination au moyen du "Metabocalculator". Helv Acta Medica 1951,1:36-9



41. Velázquez Alva MC, Irigoyen Camacho ME, Gutiérrez Méndez E. et al. Medición y predicción del gasto de energía en reposo de pacientes geriátricos críticamente enfermos con ventilación mecánica. Nutr Clin 1998;1(4):183-8.
42. Heshka H, Feld K, Yang MU, Allison W, Heymsfield. Resting energy expenditure in obese: Across-validation and comparasion of prediction equations. J Am Diet Assoc 1993;93(9):1031-6.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN