

Papel de la calorimetría indirecta (monitorización Q-NRG+) en el estudio de las necesidades nutricionales de los pacientes críticos en la UCI

Indirect calorimetry using Q-NRG+ for the assessment of nutritional therapy in critically ill patients in ICU

Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS)
Instituto de Salud Carlos III (ISCIII)

INFORMES, ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN
INFORMES DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SANITARIAS



Papel de la calorimetría indirecta (monitorización Q-NRG+) en el estudio de las necesidades nutricionales de los pacientes críticos en la UCI

Indirect calorimetry using Q-NRG+ for the assessment of nutritional therapy in critically ill patients in ICU

Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS)
Instituto de Salud Carlos III (ISCIII)

ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN
INFORMES DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS SANITARIAS

Papel de la calorimetría indirecta (monitorización Q-NRG+) en el estudio de las necesidades nutricionales de los pacientes críticos en la UCI. Matilde Palma Ruiz, Cristina Asensio del Barrio. Ministerio de Sanidad. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III. 2026.

Palabras clave: calorimetría indirecta, Q-NRG+, ecuaciones predictivas, tratamiento nutricional, terapia nutricional, gasto energético en reposo, paciente crítico, UCI.

Keywords: *indirect calorimetry, Q-NRG+, predictive energy equations, nutritional treatment, nutritional therapy, resting energy expenditure, critically ill patients, ICU.*

Autores:

Matilde Palma Ruiz, Cristina Asensio del Barrio. Coordinación y gestión del proyecto: Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (Instituto de Salud Carlos III).

Revisión del informe:

Este informe ha sido revisado por la Dra. Clara Isabel Vaquerizo Alonso, Facultativo Especialista del Servicio de Medicina Intensiva del Hospital Universitario de Fuenlabrada (Madrid).

Financiación:

Este documento ha sido realizado por la Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III en el marco de la financiación del Ministerio de Sanidad para el desarrollo de las actividades del Plan anual de Trabajo de la Red Española de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y Prestaciones del Sistema Nacional de Salud (SNS), aprobado en el Pleno del Consejo Interterritorial del SNS de 23 de junio de 2023.

El contenido del presente informe es responsabilidad exclusiva de la Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III sin que la colaboración de los revisores presuponga por su parte la completa aceptación del mismo. Los revisores del documento no suscriben necesariamente todas y cada una de las conclusiones y recomendaciones finales, que son responsabilidad exclusiva de las autoras.

Para citar este informe:

Palma Ruiz, M. Asensio del Barrio, C. Papel de la calorimetría indirecta (monitorización Q-NRG+) en el estudio de las necesidades nutricionales de los pacientes críticos en la UCI. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS) - Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Ciencia e Innovación. Ministerio de Sanidad. Madrid. 2026. Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias.

Agradecimientos:

Este informe de evaluación ha sido sometido a un proceso de revisión externa. La Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III, agradece a la Dra. Clara Isabel Vaquerizo Alonso, su colaboración desinteresada y los comentarios aportados.

Declaración de conflicto de interés:

Las autoras declaran que no ha existido ningún tipo de conflicto de interés en la elaboración de este documento.

Este documento puede ser reproducido total o parcialmente, por cualquier medio, siempre que se cite explícitamente su procedencia.

Información editorial:

Fecha de edición: mayo 2026

Edita: Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III

NIPO SGT-M°Sanidad: 133-26-128-8

NIPO Instituto de Salud Carlos III: 156-26-020-5

Contacto: mpalma@isciii.es

Índice

ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	5
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	6
RESUMEN.....	9
SUMMARY.....	15
1. INTRODUCCIÓN	21
Patología de interés	21
Tecnología en estudio	25
2. OBJETIVOS	34
2.1. Objetivo general.....	34
2.2. Alcance	34
3. METODOLOGÍA	36
3.1. Criterios de selección de estudios	36
3.2. Criterios de exclusión.....	37
3.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda	37
3.4. Proceso de selección de estudios	38
3.5. Evaluación crítica del riesgo de sesgo.....	39
3.6. Extracción de datos	39
3.7. Síntesis de los datos.....	40
3.8. Participación de pacientes	41
4. RESULTADOS	42
4.1. Resultado de la búsqueda sistemática de la literatura	42
4.2. Valoración de la calidad metodológica de los estudios.....	42
4.3. Características y resultados de los estudios.....	43
4.4. Revisiones sistemáticas y meta-análisis.....	63
4.5. GPC: Información relativa al uso de la CI en UCI.....	67
4.6. Estudios sobre percepciones de pacientes	71
5. DISCUSIÓN	74

6. CONCLUSIONES	87
7. REFERENCIAS	90
8. ANEXOS	109
ANEXO 1. Estrategia de búsqueda	109
ANEXO 2. Algoritmo de selección de estudios	111
ANEXO 3. Estudios primarios excluidos.....	112
ANEXO 4. Evaluación de la calidad los estudios incluidos	113
ANEXO 5. Fórmulas de las EP	116
ANEXO 6. Características de los estudios incluidos	117

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de inclusión	36
Tabla 2. Características y variables de resultados de los estudios incluidos.....	45
Tabla 3. Principales resultados de los estudios incluidos.	47
Tabla 4. Resultados de REE con CI y EP.....	51
Tabla 5. Resultados de la CI y las EP (mediana (IQR), en kcal/día).....	60
Tabla 6. Estudio de concordancia entre la CI y las EP. Resultados del gráfico de Bland-Altman.	61
Tabla 7. Características y resultados de comparación de CI y EP en las revisiones sistemáticas.	66
Tabla 8. Recomendaciones de las GPC sobre el uso de la CI.	70
Tabla 9. Estrategia de búsqueda en Medline.....	109
Tabla 10. Estrategia de búsqueda en Embase.....	109
Tabla 11. Estrategia de búsqueda en la Cochrane Library.....	110
Tabla 12. Estudios primarios excluidos. Motivo de exclusión	112

Índice de imágenes

Figura 1. Proceso de selección de estudios.	111
Figura 2. Fórmulas de las EP.	116

Siglas y acrónimos

AHRQ	<i>Agency for Healthcare Research and Quality</i>
APACHE	<i>Acute Physiology and Chronic Health Evaluation</i>
ASPEN	<i>American Society for Parenteral and Enteral Nutrition</i>
CADTH	<i>Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health</i>
CI	Calorimetría indirecta
CRRT	Terapia de reemplazo renal continua
CV	Coefficiente de variabilidad
ECA	Ensayo clínico aleatorio
ECMO	Oxigenación por membrana extracorpórea
EE	Gasto energético
EP	Ecuaciones predictivas
ESICM	<i>European Society of Intensive Care Medicine</i>
ESPEN	<i>European Society for Clinical Nutrition and Metabolism</i>
ETS	Evaluación de Tecnologías Sanitarias
FeCO ₂	Fracción espirada de CO ₂
FeO ₂	Fracción espirada de O ₂
FiCO ₂	Fracción inspirada de CO ₂
FiO ₂	Fracción inspirada de O ₂
GPC	Guía de práctica clínica

GPP	<i>Good practice point</i>
GPS	<i>Good practice statements</i>
HB	Ecuación predictiva de Harris-Benedict
IBW	<i>Ideal body weight</i>
IC 95%	Intervalo de confianza al 95%
ICALIC	<i>International Multicentric Study Group for Indirect Calorimetry</i>
ICC	Coeficiente de correlación intraclase
IHE	<i>Institute of Health Economics</i>
IMC	Índice de masa corporal
INAHTA	<i>International Network of Agencies for Health Technology Assessment</i>
IQR	Rango intercuartílico
mREE	Gasto energético en reposo medido por la CI
MSJ	Ecuación predictiva de Mifflin-St. Jeor
NICE	<i>National Institute for Health and Care Excellence</i>
OMS	Organización Mundial de la Salud
OR	<i>Odds Ratio</i>
PEEP	Presión positiva al final de la espiración
pREE	Gasto energético en reposo predicho por las EP
PSU	Ecuación predictiva Penn State University
REE	Gasto energético en reposo

REE-HB	Gasto energético en reposo predicho por la ecuación de Harris-Benedict sin factores de estrés.
REE-HBsf	Gasto energético en reposo predicho por la ecuación de Harris-Benedict con factores de estrés.
REE-W	Gasto energético en reposo desarrollado por el personal médico basado en la guía de ASPEN.
RP	Regla del pulgar
RQ	Cociente respiratorio
RR	<i>Risk ratio</i>
SAPS	<i>Simplified Acute Physiologic Score</i>
SCCM	<i>Society for Critical Care Medicine</i>
SD	Desviación estándar
SEMICYUC	Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias
SIGN	<i>Scottish Intercollegiate Guidelines Network</i>
SNS	Sistema Nacional de Salud
SOFA	<i>Sequential Organ Failure Assessment</i>
TEE	Gasto energético total
UCI	Unidad de Cuidados Intensivos
VCO ₂	Producción de dióxido de carbono
VM	Ventilación mecánica
VO ₂	Consumo de oxígeno

RESUMEN

Introducción

El paciente en estado crítico presenta una alteración grave de las funciones vitales que compromete su supervivencia, manifestándose mediante situaciones clínicas como episodios de insuficiencia respiratoria aguda, fallo orgánico cardíaco, hepático o renal, estados de shock y alteraciones metabólicas significativas. El ingreso de un paciente crítico en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) implica la necesidad real o potencial de instaurar medidas de soporte vital. Entre dichas medidas se incluyen la ventilación mecánica (VM), los dispositivos de asistencia circulatoria o las técnicas de depuración extrarrenal; intervenciones farmacológicas, como la administración de fármacos vasoactivos; y tratamiento nutricional especializado, mediante nutrición enteral o parenteral.

El tratamiento nutricional se considera una intervención terapéutica adicional para preservar la masa corporal magra, favorecer la adaptación del organismo a la respuesta metabólica al estrés y prevenir complicaciones neuromusculares en pacientes ingresados en la UCI. En los últimos años, este enfoque ha evolucionado hacia el concepto de tratamiento nutricional especializado que actualmente constituye una parte fundamental del manejo integral del paciente crítico e indispensable para su recuperación clínica. Para un tratamiento nutricional adecuado es necesario una estimación precisa del gasto energético (EE), el cual presenta una elevada variabilidad en función de distintos factores como la patología de base que ha condicionado el estado crítico, la gravedad del proceso, el estado nutricional previo del paciente, su masa magra corporal y las intervenciones terapéuticas a las que se encuentre sometido.

La calorimetría indirecta ventilatoria (CI) se ha convertido en la principal herramienta para evaluar el EE. La CI se basa en la medición del consumo de O_2 y producción de CO_2 para obtener el gasto energético en reposo (REE) y se considera el método de referencia o estándar de oro en el ámbito clínico. Sólo da información del gasto energético, no de los requerimientos proteicos ni de la producción de energía endógena.

No obstante, su empleo no es factible en todos los pacientes debido a las limitaciones y exclusiones técnicas para su utilización durante la VM. Entre los sistemas de CI disponibles, los carros o monitores metabólicos constituyen los dispositivos más extendidos en la práctica clínica. En 2019 se desarrolló el dispositivo Q-NRG+ (Baxter International Inc.) diseñado específicamente para medir el REE. El dispositivo Q-NRG+ es una versión posterior del monitor

metabólico Q-NRG que se desarrolló para mejorar la precisión y aplicabilidad clínica. Q-NRG+ permite la monitorización en tiempo real de los valores metabólicos y ventilatorios, así como de indicadores de calidad de la medición. Puede emplearse en población adulta y pediátrica tanto en pacientes sometidos a VM invasiva como en aquellos con respiración espontánea. En el paciente en ventilación espontánea se emplea una cámara artificial que utiliza una campana (canopy) o una mascarilla facial para recoger los gases inspirados y espirados.

Objetivos

El objetivo de este informe es estudiar la efectividad y seguridad del dispositivo Q-NRG+ en la medición del EE para una optimización del tratamiento nutricional de los pacientes críticos, en comparación con las ecuaciones predictivas (EP) y con otros calorímetros o monitores metabólicos convencionales empleados actualmente a partir de la evidencia científica publicada.

Los objetivos secundarios son revisar las percepciones de pacientes críticos adultos y/o de sus familiares en relación con los aspectos nutricionales y el tratamiento nutricional durante el ingreso en UCI y estudiar si Q-NRG+ es coste-efectivo.

Metodología

Se ha realizado una revisión sistemática de los estudios publicados en el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 hasta el 1 de mayo de 2025 sobre efectividad y seguridad del dispositivo Q-NRG+ frente a las EP y otros calorímetros o monitores metabólicos convencionales, en pacientes adultos en estado crítico.

Se consultaron diversas fuentes de información relacionadas con ciencias de la salud; bases de datos bibliográficas PubMed (Medline) y EMBASE, la *Cochrane Library*, informes de evaluación de tecnologías sanitarias (ETS) en RedETS, *International Network of Agencies for Health Technology Assessment* (INAHTA), *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE), eGuidelines, *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health* (CADTH) y *The Agency for Healthcare Research and Quality* (AHRQ). Se realizaron también búsquedas en sitios web de asociaciones y sociedades médicas relacionadas con la nutrición en UCI y el método de la CI. Además, se buscaron guías de práctica clínica (GPC) en los siguientes repositorios: GuíaSalud, ECRI, *National Health and Medical Research Council* y en *Guideline Central*.

Finalmente, se llevaron a cabo búsquedas en la Biblioteca Virtual de Ciencias de la Salud y en Scielo, así como búsquedas libres en internet y otras búsquedas

manuales a partir de las referencias de los estudios seleccionados y de algunas revisiones sistemáticas y narrativas consideradas de interés para este informe.

La evaluación de la calidad metodológica de los estudios se realizó por pares. Dado el tipo de estudios incluidos en el informe, para la evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo se utilizó el *checklist* del IHE (*Institute of Health Economics*, Alberta, Canadá) para series de casos.

Se ha realizado además una revisión de estudios cualitativos como estrategia a seguir para facilitar la incorporación de percepciones de pacientes en estado crítico sobre aspectos nutricionales.

Resultados

Se han seleccionado 19 artículos publicados: 6 estudios primarios sobre Q-NRG, 5 revisiones sistemáticas con meta-análisis sobre el uso de calorímetros indirectos en comparación a las EP en pacientes críticos, 5 GPC y 2 estudios cualitativos que analizan percepciones de pacientes críticos sobre la nutrición (un estudio primario y una revisión narrativa). No se ha localizado ningún informe de ETS y ningún estudio de coste-efectividad de esta tecnología.

Estudios Q-NRG. Los seis estudios primarios seleccionados presentan un diseño observacional, de los que cinco son prospectivos. Ninguno es un ensayo clínico. Todos son estudios unicéntricos, salvo uno que se realizó de manera multicéntrica en 6 países. Las poblaciones incluidas presentan características clínicas heterogéneas aunque todos estaban ingresados en UCI y la mayoría son pacientes en VM. En dos estudios sólo se informa de que son pacientes UCI, dos estudios incluyen pacientes con covid-19, uno se centra en pacientes con traumatismos severos, y otro sólo considera pacientes oncológicos. En general el tamaño muestral total de estos estudios es pequeño y muy variable (de 19 pacientes en un estudio a 277 pacientes en el estudio multicéntrico).

Dos estudios utilizan el dispositivo Q-NRG mientras que los cuatro restantes utilizan el Q-NRG+. El número de mediciones, cuando se comunica, es también muy variable (de 97 mediciones de CI en 38 pacientes a 235 mediciones en 146 pacientes).

Como grupo comparador se utilizan las EP, excepto en un estudio donde el Q-NRG se compara con otros monitores de CI. La ecuación de Harris-Benedict se utiliza en todos los estudios que usan EP, salvo en uno. Otras EP empleadas en la comparación fueron la ecuación predictiva de Mifflin-St. Jeor, las ecuaciones predictiva Penn State University, los límites superior e inferior de los rangos

de las ecuaciones basadas en el peso de ASPEN-SCCM (*American Society for Parenteral and Enteral Nutrition - Society for Critical Care Medicine*), las ecuaciones basadas en el peso (20, 25 y 30 kcal/kg), la ecuación de Schofield para población adolescente y la regla del pulgar.

En todos los estudios se aplica el Q-NRG siguiendo las indicaciones del fabricante, en pacientes estables que cumplen las mismas condiciones clínicas para realizar la medición de CI y se aceptan los mismos criterios para considerar válidas las mediciones del Q-NRG. Sólo dos estudios informan sobre el tiempo que dura la medición de gases con la CI: 11 minutos y entre 15 y 20 minutos. En un estudio se compara el tiempo de medición mediante el dispositivo Q-NRG con el de otros calorímetros indirectos.

Los resultados de los seis estudios primarios se analizan y se presentan de forma diversa. Todos aportan resultados del mREE (gasto energético en reposo medido por CI) y pREE (gasto energético en reposo predicho por las EP) y se comparan mediante diferentes tests estadísticos. En la mayoría se estudia también el grado de acuerdo o concordancia entre el Q-NRG y las EP utilizadas. Este grado de acuerdo o concordancia se analiza mediante el gráfico de Bland-Altman.

Sólo en dos estudios se proporciona cierta información sobre el tratamiento nutricional. En general se muestran resultados numéricos de las mediciones de la CI y/o de las EP, pero no se describe cómo estos datos se han interpretado para establecer o modificar el aporte energético y tratamiento nutricional. No es posible valorar ni comparar el impacto clínico de ambos procedimientos de medición. No se analizan variables de resultado de mortalidad (a corto y medio plazo), relación con posibles infecciones nosocomiales y otros potenciales eventos adversos.

En cuanto a los resultados, la CI ha demostrado su fiabilidad y estabilidad, con concordancia en las mediciones y a diferentes valores de FiO_2 (fracción inspirada de O_2), comparando entre porcentajes del 40% y 60%. Se ha encontrado una concordancia baja a moderada entre los resultados de la CI y las EP. Sin embargo, existen diferencias entre los estudios. Se muestran sesgos tanto positivos como negativos en las estimaciones del REE en comparación al medido con CI, indicando que estas EP no son precisas ni consistentes y, por ello, no se recomienda que el tratamiento nutricional se apoye en sus resultados.

En pacientes covid-19 se ha constatado la utilidad de la CI para realizar el seguimiento del EE, dado el bajo grado de acuerdo en los resultados entre la CI y las diferentes EP, siendo aún más relevante en pacientes no obesos en los que la CI evidencia un hipermetabolismo marcado y prolongado que no es posible valorar con las EP. Tampoco se ha demostrado concordancia entre los resultados de Q-NRG+ y las EP en pacientes oncológicos ni en los pacientes críticos por traumatismo severo, en

los que las EP sobre o infraestiman las necesidades energéticas, y en estos últimos, además, la CI no evidencia el hipermetabolismo que se presuponía.

Revisiones sistemáticas. Las cinco revisiones sistemáticas, publicadas entre 2020 y 2024, no especifican el modelo de calorímetros indirectos utilizados en los estudios primarios. Sus resultados no se agrupan en función del tipo de calorímetro utilizado. Además, los resultados son diferentes y, en ocasiones, contrarios. Unas revisiones sistemáticas parecen confirmar que el uso de la CI se asocia con mejoras en determinados resultados clínicos de los pacientes críticos en UCI, mientras que otras, no ofrecen resultados tan evidentes a favor de la CI.

GPC sobre el uso de la CI en UCI. En general, existe consenso en cuanto a considerar que la CI es el estándar oro para estimar las necesidades energéticas en adultos en estado crítico.

Estudios cualitativos. La revisión narrativa seleccionada evidencia que a pesar del gran volumen de pacientes críticos a los que la nutrición es administrada por sonda nasogástrica, existe una laguna importante en la literatura sobre las experiencias de pacientes. El estudio primario proporciona información de pacientes en una UCI. Según los pacientes entrevistados, fue fundamental comprender la nutrición enteral como una intervención temporal durante el proceso de recuperación para retomar la vida cotidiana o superar el período de estancia en la UCI.

Conclusiones

El tratamiento nutricional personalizado es clave para una mejor evolución del paciente ingresado en UCI. La determinación de las necesidades energéticas en el paciente crítico resulta fundamental para un correcto tratamiento nutricional, ajustando la prescripción calórica y proteica del paciente crítico y, con ello, evitando la sobre o infraalimentación.

La CI aporta información sobre el metabolismo de los sustratos, lo que puede ayudar a modificar el aporte nutricional que se administra al paciente. La CI con Q-NRG+ ofrece ventajas técnicas frente a otros calorímetros, puede utilizarse tanto en pacientes con respiración espontánea como en VM, estén con nutrición enteral o parental, en pacientes en UCI o fuera de ella. Q-NRG+ permite realizar un seguimiento longitudinal de los requerimientos energéticos del paciente, los cuales se modifican a lo largo del curso de la enfermedad.

La revisión de la literatura parece corroborar que la CI determina con mayor precisión las demandas metabólicas en pacientes críticos en UCI, en comparación con las EP. Sin embargo, la evidencia para respaldar el uso temprano de la

CI en UCI aún no es concluyente pues los datos actuales no demuestran de forma clara que el uso de CI en las primeras fases de la enfermedad aguda suponga un beneficio clínico para el paciente crítico.

La literatura revisada muestra cierta controversia respecto a si el uso de la CI supone una mejora en los resultados en salud para el paciente. Los datos actuales no corroboran de forma clara que el uso de CI, en comparación a las EP, se asocie a reducción de la mortalidad en UCI ni hospitalaria, ni a reducción en la tasa de infecciones, ni a una disminución en la duración de la VM, ni en el tiempo de estancia hospitalaria, en especial en la fase aguda de la enfermedad. La evidencia disponible en la literatura tampoco demuestra de manera concluyente que el uso de Q-NRG+ mejore de forma significativa la recuperación funcional y la calidad de vida de los pacientes tras la estancia en la UCI.

Algunas limitaciones en el uso clínico de Q-NRG+ son el coste de los calorímetros indirectos y las barreras logísticas, que dificultan su implementación en el ámbito hospitalario. Asimismo, su utilización no siempre resulta factible, especialmente durante la fase aguda de la enfermedad o en determinadas situaciones clínicas como la presencia de fugas que impiden la medición precisa del consumo de O₂ y producción de CO₂ (neumotórax con drenaje torácico con fuga, fistulas broncopleurales), humedad en el sistema (sistemas de humidificación activa, nebulizadores), empleo de sedación inhalada (por interferencia de los anestésicos volátiles con los sensores de gas). No obstante, con las mejoras desde el punto de vista técnico se espera una mayor implantación y utilización en la práctica clínica.

Líneas de investigación futura. Resulta necesario realizar estudios de adecuada calidad metodológica estratificados según grupos fenotípicos, dada la heterogeneidad observada entre pacientes durante la fase aguda de la enfermedad crítica en términos de tolerancia a la nutrición enteral y respuesta inflamatoria. Esto permitiría individualizar el tratamiento nutricional. Asimismo, es preciso considerar el perfil metabólico específico de cada paciente en función de la gravedad de la enfermedad subyacente y la fase evolutiva de la misma para clasificar a los pacientes en función de su respuesta al tratamiento nutricional.

Está pendiente de resolver diversos aspectos sobre la aplicación de la CI como el momento óptimo para la realización de la primera medición, la frecuencia con la que se deben realizar las mediciones y la forma de integrar los resultados mediante CI para ajustar y guiar el tratamiento nutricional.

Un área de interés a explorar es la participación del paciente y su familia en el entorno de la UCI así como la comunicación efectiva con los profesionales sanitarios en relación al tratamiento nutricional y otros aspectos que contribuyan a la creación de un entorno centrado en el paciente

SUMMARY

Introduction

Critically ill patients present with severe dysfunction of vital functions that compromise survival, clinically manifested by acute respiratory failure, organ dysfunction (cardiac, hepatic, or renal), shock states, and significant metabolic disturbances. Admission to an Intensive Care Unit (ICU) implies the actual or potential need to initiate life-support measures. These include mechanical ventilation (MV), circulatory support devices, extracorporeal renal replacement therapies, pharmacological interventions—such as the administration of vasoactive agents—and specialized nutritional therapy delivered via enteral or parenteral routes.

Nutritional therapy is considered an adjuvant therapeutic strategy aimed at preserving lean body mass, promoting physiological adaptation to the metabolic stress response, and preventing neuromuscular complications in critically ill patients. In recent years, this approach has evolved into the concept of specialized nutritional therapy, which is currently recognized as an essential component of the comprehensive management of critically ill patients and a key factor in clinical recovery. Optimization of nutritional therapy requires accurate estimation of energy expenditure (EE), which is characterized by high variability depending on multiple factors, including the underlying pathology responsible for the critical condition, disease severity, pre-existing nutritional status, lean body mass, and ongoing therapeutic interventions.

Indirect calorimetry (IC) has become the reference method for assessing EE. This technique is based on the measurement of oxygen consumption (O_2) and carbon dioxide production (CO_2), enabling determination of resting energy expenditure (REE), and is considered the gold standard in clinical practice. However, it provides information exclusively on energy expenditure, without assessing protein requirements or endogenous energy production.

Nevertheless, its application is not universal due to technical limitations and exclusion criteria, particularly in patients undergoing mechanical ventilation. Among the available IC systems, metabolic carts or monitors are the most widely used devices in clinical practice. In 2019, the Q-NRG+ device (Baxter International Inc.) was developed, specifically designed for the measurement of REE. This device represents an evolution of the Q-NRG metabolic monitor, optimized to improve measurement accuracy and clinical applicability. The Q-NRG+ enables real-time monitoring of metabolic and ventilatory parameters,

as well as measurement quality indicators. It can be used in both adult and pediatric populations, in patients receiving invasive mechanical ventilation as well as those with spontaneous breathing. In the latter, gas collection is performed using an artificial chamber system employing a canopy or a face mask to capture inspired and expired gases.

Objectives

This report aims to study the effectiveness and safety of the Q-NRG+ device in measuring EE for optimization of nutritional therapy for critically ill patients, compared with predictive equations (PE) and with other conventional calorimeters or metabolic monitors currently used based on published scientific evidence.

Secondary objectives include reviewing the perceptions of critically ill adult patients and/or their relatives regarding nutritional aspects and nutritional therapy during ICU admission, as well as assessing the cost-effectiveness of the Q-NRG+ device.

Methods

A systematic review was conducted of studies published between January 1, 2015, and May 1, 2025, assessing the effectiveness and safety of the Q-NRG+ device compared with predictive equations and other conventional calorimeters or metabolic monitors in critically ill adult patients.

Various health sciences information sources were consulted, including the PubMed (Medline) and EMBASE bibliographic databases, the Cochrane Library, Health Technology Assessment (HTA) reports in RedETS, the International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA), the National Institute for Health and Care Excellence (NICE), eGuidelines, the Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health (CADTH), and the Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ). Searches were also performed on the websites of medical associations and societies related to ICU nutrition and IC. Additionally, clinical practice guidelines (CPGs) were identified in the following repositories: GuiaSalud, ECRI, the National Health and Medical Research Council, and Guideline Central.

Finally, searches were conducted in the Virtual Library of Health Sciences and in SciELO, as well as free internet searches and other searches based on the references of the selected studies and some systematic and narrative reviews considered relevant to this report.

The methodological quality of the studies was assessed by peer review. Given the type of studies included in the report, the IHE (Institute of Health Economics, Alberta, Canada) *checklist* for case series was used to assess methodological quality and risk of bias. A review of qualitative studies was also conducted as a strategy to facilitate the incorporation of critically ill patients' perceptions of nutritional aspects.

Results

Nineteen published articles were selected: six primary studies on Q-NRG, five systematic reviews with meta-analyses on the use of IC compared to PE in critically ill patients, five CPGs, and two qualitative studies analyzing critically ill patients' perceptions of nutrition (one primary study and one narrative review). No HTA reports were identified. No cost-effectiveness studies were found.

Q-NRG studies. The six selected primary studies had an observational design; five were prospective. None of them were clinical trials. All were single-center studies, except for one that was conducted as a multicenter study in six countries. The included populations had heterogeneous clinical characteristics, although all were admitted to the ICU, and most were mechanically ventilated. Two studies only reported that the patients were ICU patients, two included patients with covid-19, one focused on patients with severe trauma, and another only considered oncological patients. In general, the total sample size of these studies is small and highly variable (ranging from 19 patients in one study to 277 patients in the multicenter study).

Two studies used the Q-NRG device, while the remaining four used the Q-NRG+. The number of measurements, when reported, is also highly variable (from 97 IC measurements in 38 patients to 235 measurements in 146 patients).

PEs are used as the comparator group, except in one study where the Q-NRG is compared with other indirect calorimeters. The Harris-Benedict equation is used in all studies that employ PEs, except for one. Other PEs used in the comparison were the Mifflin-St. Jeor predictive equation, the Penn State University predictive equations, the upper and lower limits of the weight-based ranges of the ASPEN-SCCM (Society for Critical Care Medicine) equations, weight-based equations (20, 25, and 30 kcal/kg), the Schofield equation for adolescents, and the rule of thumb.

In all studies, the Q-NRG is applied according to the manufacturer's instructions, in stable patients who meet the same clinical conditions for IC stud-

ies, and the same criteria are accepted for considering Q-NRG measurements valid. Only two studies reported the time required to perform IC measurement ranges from 11 minutes to between 15 and 20 minutes. One study compares the measurement time using the Q-NRG device with that of other indirect calorimeters.

The results of the six primary studies are analyzed and presented using various approaches. All studies reported measured resting energy expenditure (mREE) obtained via IC and predicted resting energy expenditure (pREE) calculated using PEs, with comparisons performed using different statistical tests. Most studies also assessed the level of agreement between the Q-NRG device and the PEs employed. This degree of agreement is analyzed using the Bland-Altman plot.

Only two studies provide any information on nutritional therapy. In general, numerical results of the CI and/or PE measurements are shown, but it is not described how these data were interpreted to establish or modify energy intake or nutritional therapy. It is not possible to assess or compare the clinical impact of both measurement procedures. Mortality outcome (short-, medium, and long-term), the relationship with nosocomial infections and potential adverse events were not analyzed).

Regarding the results, the IC has demonstrated its reliability and stability, with agreement in measurements and at different FiO₂ (fraction of inspired oxygen) values, comparing between percentages of 40% and 60%. Poor to moderate agreement has been found between the results of the IC and the PE. However, there are differences between the studies. Both positive and negative biases were observed in estimates of REE (resting energy expenditure) when compared with measured IC, indicating that PE lack precision and consistency, therefore, it is not recommended that nutritional therapy be based on their results.

In covid-19 patients, the usefulness of IC for monitoring EE has been established, given the low agreement in the results between IC and different PEs. This is even more relevant in non-obese patients, in whom IC appears to reveal marked and prolonged hypermetabolism that cannot be assessed with PEs. Agreement between Q-NRG+ and PEs results has also not been demonstrated in cancer patients or in critically ill patients with severe trauma, in whom PEs over- or underestimate energy requirements. Furthermore, in the latter group, IC rules out the hypermetabolism that was presumed.

Systematic reviews. The five systematic reviews, published between 2020 and 2024, do not specify the indirect calorimeter model used in the primary studies. Their results are not grouped according to the type of calorimeter used.

Furthermore, the results are quite different. Some systematic reviews seem to confirm that the use of IC leads to improvements in certain clinical outcomes for critically ill patients in the ICU, while others do not offer such clear results in favor of IC.

Clinical practice guidelines on the use of IC in the ICU. In general, there is a consensus that IC is the gold standard for estimating energy requirements in critically ill adults.

Qualitative Studies. The selected narrative review highlights that, despite the large number of critically ill patients receiving nutrition via nasogastric tube, there is a significant gap in the literature regarding patient experiences. The primary study included provides information from patients in an ICU setting. According to the interviewed patients, it was essential to understand enteral nutrition as a temporary intervention during the recovery process to resume daily life or to overcome the ICU stay period.

Conclusions

Personalized nutritional therapy is essential for improving the clinical outcomes of patients admitted to the ICU. Determining energy requirements in critically ill patients is crucial for appropriate nutritional management, allowing for the adjustment of caloric and protein prescriptions and thereby preventing underfeeding or overfeeding.

IC provides information on substrate metabolism, which can guide modifications to the nutritional support provided to the patient. IC using the Q-NRG+ device offers technical advantages over other calorimeters and can be applied in both spontaneously breathing patients and those receiving mechanical ventilation, whether on enteral or parenteral nutrition, in the ICU or outside of it. The Q-NRG+ enables longitudinal monitoring of patient energy requirements, which change throughout the course of the disease.

The literature review appears to corroborate that IC provides a more accurate assessment of metabolic demands in critically ill ICU patients compared with PEs. However, the evidence supporting the early use of IC in the ICU remains inconclusive, as current data do not clearly demonstrate that IC use during the initial phases of acute illness confers a clinical benefit to critically ill patients.

The reviewed literature shows some controversy regarding whether IC improves patient health outcomes. Current evidence does not clearly support that

IC, compared with PEs, is associated with reductions in ICU or hospital mortality, infection rates, duration of mechanical ventilation, or length of hospital stay, particularly during the acute phase of illness. Available literature also does not conclusively demonstrate that Q-NRG+ use significantly enhances functional recovery or quality of life following ICU discharge.

Some limitations to the clinical use of Q-NRG+ include the cost of indirect calorimeters and logistical barriers that hinder implementation in the hospital setting. Additionally, its use is not always feasible, particularly during the acute phase of illness or in certain clinical scenarios, such as the presence of leaks that prevent accurate measurement of oxygen consumption (O_2) and carbon dioxide production (CO_2) (e.g., pneumothorax with chest drainage leaks, bronchopleural fistulas), system humidity (active humidification systems, nebulizers), or the use of inhaled sedation (due to interference of volatile anaesthetics with gas sensors). Nonetheless, with ongoing technical improvements, wider implementation and utilization in clinical practice are anticipated.

Future Research Directions

High-quality, methodologically rigorous studies stratified by phenotypic groups are needed, given the heterogeneity observed among patients during the acute phase of critical illness in terms of tolerance to enteral nutrition and inflammatory response. Such stratification would allow for individualized nutritional therapy. Furthermore, it is essential to consider each patient's specific metabolic profile based on the severity of the underlying disease and the disease stage to classify patients according to their response to nutritional treatment.

Several aspects of IC application remain unresolved, including the optimal timing for the first measurement, the frequency of repeated measurements, and how IC results should be integrated to guide and adjust nutritional therapy.

An additional area of interest is the involvement of patients and their families in the ICU environment, as well as effective communication with healthcare professionals regarding nutritional therapy and other aspects that contribute to creating a patient-centred care environment.

1. Introducción

Patología de interés

El paciente en estado crítico presenta una alteración grave de las funciones vitales que compromete su supervivencia, manifestándose mediante situaciones clínicas como episodios de insuficiencia respiratoria aguda, fallo orgánico cardíaco, hepático o renal, estados de shock y alteraciones metabólicas significativas. El ingreso de un paciente crítico en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) implica la necesidad real o potencial de instaurar medidas de soporte vital. Entre dichas medidas se incluyen la ventilación mecánica (VM), los dispositivos de asistencia circulatoria o las técnicas de depuración extrarrenal; intervenciones farmacológicas, como la administración de fármacos vasoactivos; y tratamiento nutricional especializado, mediante nutrición enteral o parenteral (Vera-Carrasco, 2022). La UCI abarca una población nutricionalmente compleja caracterizada por una intensa respuesta inflamatoria sistémica mediada por la liberación de mediadores proinflamatorios que desencadenan los cambios metabólicos que ocurren a través de las diferentes fases de la enfermedad crítica (Murray et al., 2023).

En comparación a la población sana, las personas en estado crítico en UCI tienen un mayor gasto energético (EE, *energy expenditure*), que lleva a aumentar sus necesidades energéticas y a presentar un riesgo muy elevado de desarrollar desnutrición relacionada con la fase aguda de la enfermedad crítica (Londoño-Londoño et al., 2024). Se ha estimado que la inactividad física y los cambios en el tratamiento médico de los pacientes críticos conducen a una pérdida de entre 300 a 600 mg/día de masa magra (Delsoglio et al., 2019). La desnutrición es altamente prevalente en pacientes tratados en las UCIs debido a la insuficiente prescripción nutricional y a la incapacidad de alcanzar los objetivos nutricionales establecidos. Su prevalencia oscila entre el 30 y el 50% dependiendo de las herramientas de detección utilizadas y de las características de las diferentes poblaciones de pacientes (Chada et al., 2021).

Los estudios que evalúan la práctica clínica real revelan que la administración de tratamiento nutricional en pacientes ingresados en UCI es inferior al 50% de los objetivos nutricionales prescritos, incluso en los pacientes con mayor grado de desnutrición. La malnutrición iatrogénica continúa siendo un problema de carácter universal en UCIs durante periodos de tiempo prolongados (a menudo más de 7-10 días) tras el ingreso de los pacientes, que reciben, en promedio, entre el 40 y 50% de los requerimientos nutricionales estimados (Wischmeyer et al., 2021).

En general, la malnutrición, tanto por infraalimentación como por sobrealimentación (definida como un aporte nutricional >100% de los requerimientos nutricionales estimados), constituye un factor de riesgo independiente de morbilidad (Vaquerizo Alonso et al., 2020), con consecuencias clínicas negativas, como el incremento en la mortalidad, el aumento de la estancia hospitalaria, o mayor número de complicaciones como incremento de la duración de la VM, mayor riesgo de infecciones nosocomiales o dificultad para la cicatrización de las heridas (Moonen et al., 2021; Preiser et al., 2015; Tatucu-Babet & Ridley, 2022).

Aunque tanto la sobrenutrición como la infranutrición se asocian con peores resultados, la optimización del tratamiento nutricional se ve limitada por el insuficiente conocimiento de la variabilidad y los cambios dinámicos de los requerimientos nutricionales individuales de los pacientes críticos. En el pasado, las recomendaciones nutricionales en el paciente crítico promovían una **estrategia de tratamiento nutricional temprano y agresivo** con el objetivo de prevenir la desnutrición y la pérdida de masa muscular. Sin embargo, no se ha podido demostrar su beneficio, incluso se han demostrado algunos daños significativos como el aumento de la hiperglucemia, la esteatosis hepática y aumento de la mortalidad.

El **tratamiento nutricional** se considera una **intervención terapéutica complementaria** destinada a preservar la masa corporal magra, modular la respuesta metabólica al estrés y prevenir complicaciones neuromusculares en pacientes ingresados en la UCI. La oxidación de los alimentos es la principal fuente de energía para los seres vivos. Recientemente, el soporte nutricional ha evolucionado hacia el **tratamiento nutricional especializado**, cuyo objetivo es atenuar la respuesta al estrés, prevenir el daño oxidativo celular y modular la respuesta metabólica e inmunitaria. El tratamiento nutricional se ha convertido en una parte integral de los cuidados intensivos, e indispensable para la recuperación de cualquier paciente en estado crítico (Matejovic et al., 2022). Existe suficiente evidencia sobre la efectividad del tratamiento nutricional en la mejora de los resultados en salud del paciente crítico, y también su influencia en la recuperación de la situación funcional y calidad de vida previas a la enfermedad (Wischmeyer, 2016). Se hace necesaria una atención médica y nutricional oportuna donde el tratamiento nutricional juega un papel fundamental para mantener y mejorar la función orgánica, y proporcionar farmaconutrientes que modulen la respuesta de la fase aguda y que prevengan la desnutrición calórico-proteica y sus efectos negativos, preservando la masa tisular y disminuyendo el consumo de los depósitos de nutrientes endógenos (Matute et al., 2022).

El tratamiento nutricional temprano (nutrición enteral o nutrición parental cuando la nutrición enteral está contraindicada) mejora el curso clínico de la

enfermedad crítica, por ello, se considera una estrategia terapéutica proactiva. Esta intervención se asocia con mejoras en los resultados clínicos más allá de los puramente nutricionales incluyendo reducción de la gravedad de la enfermedad, menor incidencia de complicaciones y reducción de la estancia en la UCI (McClave et al., 2016). Un aporte energético en torno al 70% de los requerimientos energéticos se asocia a menor mortalidad (Zusman et al., 2016).

Para poder establecer un tratamiento nutricional adecuado, es imprescindible una medición precisa del EE (Heidegger et al., 2013). El EE es muy variable dependiendo de la patología de origen que haya llevado al paciente al estado crítico, de la gravedad del proceso, del estado nutricional previo del paciente, de su masa magra corporal y de los tratamientos a que sea sometido.

El **gasto energético total** (*total energy expenditure*, TEE) se compone de tres elementos: 1) el gasto energético basal (*basal energy expenditure*, BEE); 2) la termogénesis endógena generada por los alimentos (energía necesaria para su digestión, absorción, metabolismo y almacenamiento) y las variaciones en la temperatura corporal derivada de diferentes procesos fisiológicos (representa un 5-10% del TEE); y 3) el gasto energético inducido por la actividad física (supone entre el 25-30% del TEE), siendo reemplazada esta actividad física en el paciente crítico por el grado de estrés o gravedad de su enfermedad, por las actividades de rehabilitación activas o pasivas y la frecuencia a la que la terapia física es administrada al paciente; es la parte de mayor variabilidad pues contribuye en un porcentaje amplio de un 25%-75% (Blasco Redondo, 2015).

El BEE es el total de calorías gastadas por minuto u hora reportadas en un período de 24 horas. Se trata del principal componente del TEE, pues representa entre el 60% al 70% del requerimiento energético diario de un individuo sedentario y el 50% del de individuos que realizan actividad física. Puede variar entre los individuos debido a diversos aspectos como el grupo étnico, el peso, la grasa magra corporal, hábito tabáquico y según la actividad física que realice. El BEE no es fácil de medir, ya que su evaluación tiene que hacerse por la mañana, una vez que el individuo se ha despertado tras dormir dentro de la unidad metabólica, sin haber realizado ninguna actividad física, después de un ayuno de 10-12 horas y bajo condiciones ambientales controladas de temperatura, humedad, luz y ruido. La forma más sencilla de calcularlo es midiendo el gasto energético en reposo (*resting energetic expenditure*, REE), que es la suma del BEE y el inducido por la termogénesis, por lo que se diferencia muy poco del basal. El REE representa el mínimo EE de una persona sana en reposo en condiciones ambientales confortables (Parra-Carriedo et al., 2013).

Se reconocen algunos factores que aumentan el REE, como el sexo masculino, la presencia de fiebre (que incrementa un 7% el EE por cada grado centígra-

do de temperatura), algunos medicamentos como la teofilina, los vasopresores, las catecolaminas o los antineoplásicos. También, la hiperventilación, el tipo de VM, los cuidados y maniobras de enfermería. En pacientes en estado crítico el REE puede disminuir en presencia de depleción de masa magra, dado que el tejido libre de grasa constituye el principal determinante de la actividad metabólica basal. Otros factores que disminuyen el REE son el sexo femenino, la hipotermia (provoca una reducción de un 7% por cada grado centígrado), el ayuno y la desnutrición, la hipoventilación, el envejecimiento y algunos medicamentos como sedantes, analgésicos, relajantes musculares o betabloqueantes.

El paciente crítico constituye una población muy heterogénea, que incluye subgrupos como pacientes médicos, traumáticos y quirúrgicos, además de presentar una amplia variabilidad en cuanto a etiologías subyacentes y grados de gravedad clínica. Esta heterogeneidad dificulta la interpretación y extrapolación de los resultados de los estudios clínicos, de modo que no siempre es posible establecer recomendaciones generales.

En general se observa un estado de hipermetabolismo en pacientes críticos, especialmente durante las fases iniciales de la enfermedad, pero ciertos medicamentos, como betabloqueantes o analgésicos y sedantes, la inmovilización, la pérdida de masa corporal magra y la VM pueden inducir una reducción del metabolismo basal, e incluso llevar a situaciones de hipometabolismo. El hipermetabolismo ha sido documentado en pacientes críticos con politraumatismos y en grandes quemados (Berger & Pichard, 2019; Foley et al., 2008). Además, es importante tener en cuenta que el aporte nutricional vía enteral puede verse alterado en pacientes críticos debido a modificaciones en la absorción gastrointestinal que sufren estos pacientes (Delsoglio et al., 2019).

Por tanto, el tratamiento nutricional personalizado y ajustado en tiempo real es necesario para una atención adecuada del paciente crítico (Moonen et al., 2021). El tratamiento nutricional óptimo requiere una provisión de energía adaptada individualmente, lo más próxima posible al EE real del paciente (Stephens & Busch, 2025; Wischmeyer et al., 2023). En los pacientes en UCI, el objetivo calórico se define como la cantidad de energía requerida para preservar la masa corporal magra y limitar los efectos perjudiciales del hipercatabolismo. El tratamiento nutricional no sólo permite aportar los nutrientes necesarios sino que también contribuye a modular la respuesta inflamatoria, metabólica e inmunitaria (Vaquerizo Alonso et al., 2020).

Las mediciones del EE permiten optimizar la prescripción energética de acuerdo con el concepto de medicina personalizada y terapia orientada a objetivos, incluido el ajuste de la prescripción energética a los cambios metabólicos dinámicos relacionados con el curso de la enfermedad o tratamientos adminis-

trados (Achamrah et al., 2021). Por ello, la medición precisa del REE resulta esencial para determinar adecuadamente las necesidades energéticas de los pacientes (Oshima et al., 2017).

Tecnología en estudio

Desde que Lavoisier descubrió que la producción de calor se puede predecir a partir del consumo de oxígeno (Morris, 1972), la calorimetría directa e indirecta se ha convertido en la herramienta clave para evaluar el EE. La **calorimetría directa** permite determinar el TEE midiendo la cantidad de calor generado por el organismo, pero a través de un procedimiento altamente complejo y difícil de realizar en la práctica clínica, pues implica colocar al paciente en una cámara aislada y sellada y que sea aplicado por personal especializado, además de resultar costoso, por lo que su uso se ha restringido al ámbito de la investigación (Moonen et al., 2021; Sundström Rehal et al., 2023). Por el contrario, la **calorimetría indirecta** ventilatoria (CI) mide el intercambio gaseoso (consumo de O₂ y producción de CO₂) y se ha convertido en el estándar de oro en el entorno clínico para medir el EE (Singer et al., 2019; Vaquerizo Alonso et al., 2020).

La energía química de un sustrato (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) se obtiene tras su completa oxidación con el consiguiente consumo de O₂ y liberación de CO₂ y agua, aunque en el caso de las proteínas, la fracción nitrogenada no se oxida completamente sino que es eliminada, en parte, en forma de nitrógeno ureico todavía energético. Admitiendo que todo el O₂ consumido se utiliza para oxidar los sustratos energéticos y que todo el CO₂ producido se elimina por la respiración, es posible calcular la energía total producida en el organismo a partir de la determinación del volumen de ambos gases (Blasco Redondo, 2015).

A través del calor generado, la CI estima el metabolismo basal, identifica los sustratos energéticos metabolizados o el patrón de oxidación de los sustratos y cuantifica el REE midiendo el consumo de oxígeno (VO₂) y la producción de dióxido de carbono (VCO₂) (Moonen et al., 2021) en el flujo de aire respirado, siguiendo la fórmula de Weir (de Weir, 1949):

$$\text{EE (kcal/día)} = 1,440 \times [3,941 \times \text{VO}_2 \text{ (ml/min)} + 1,106 \times \text{VCO}_2 \text{ (ml/min)}] - [2,17 \times \text{nitrógeno urinario (g/día)}]$$

Este nitrógeno urinario representa la oxidación de proteínas y permite valorar el equilibrio entre el nitrógeno administrado en la dieta y el eliminado (medido en orina de 24 horas). También se acepta el uso de la fórmula de Weir modificada en la que se elimina la parte correspondiente a la proporción de EE obtenido del nitrógeno urinario por ser tan sólo del 4-5%.

Otro parámetro importante medido por la CI es el cociente respiratorio (RQ) que mide la relación VCO_2/VO_2 . En un metabolismo equilibrado, el RQ se sitúa entre 0,7 y 1,1; si existe lipólisis secundaria a déficit de carbohidratos, el RQ será $<0,7$, mientras que cuando el RQ es $>1,1$ indica lipogénesis por exceso de carbohidratos (Kang et al., 2018). Por tanto, el RQ también aporta información sobre qué sustratos está utilizando el paciente. Además, el RQ es un indicador de calidad de la medición de la CI, pudiendo indicar la presencia de problemas técnicos como fugas de aire.

El TEE suele reducirse durante las fases iniciales de la enfermedad crítica y aumenta con procesos inflamatorios, pues estos estimulan la liberación de citoquinas y de sustancias como cortisol, glucagón y catecolaminas, que inducen un estado de hipermetabolismo (Achamrah et al., 2021). Este aumento del TEE se ha asociado a incrementos en la mortalidad (Wu et al., 2015).

El método de CI empleado en pacientes es el de circuito abierto, con distintos sistemas de recogida del aire espirado, bien con mascarilla bucal, canopy o de cuerpo entero, entre otros. Si el paciente respira de forma espontánea, se utiliza una máscara facial ajustada, ya sea conectada al ventilador o mediante sistema canopy (también conocido como sistema de cúpula o dosel). El sistema canopy consiste en un dosel o capucha transparente que se coloca sobre la cabeza y el cuello del paciente para recoger el aire exhalado, permitiendo medir con precisión el EE sin necesidad de conectar tubos directamente a la boca o nariz del paciente. En pacientes sometidos a VM, la toma de muestras de los gases respiratorios se realiza a través del circuito conectado al tubo endotraqueal y medido “respiración a respiración” (*breath by breath*) en algunos calorímetros indirectos (Quark RMR, Vmax Encore y E-COVX) o en una cámara (*mixing chamber*) en otros calorímetros, incluyendo Q-NRG y en el ya descatalogado Deltratrac.

La determinación del EE mediante CI refleja el estado fisiológico real del paciente a diferencia de las ecuaciones predictivas (EP) que estiman los requerimientos energéticos a partir de parámetros antropométricos. En general, se acepta que existe una escasa correlación (inferior al 50%) entre la información aportada por la CI y la que ofrecen las EP (Zusman et al., 2016); el REE se subestima con las EP si el pREE (REE predicho) es $<80\%$ del mREE (REE medido por CI), si está entre el 80 y 110% se considera un valor aceptable y si es $>110\%$ se considera que sobreestima los requerimientos energéticos (Londoño-Londoño et al., 2024; Reid, 2007).

Otras ventajas de la CI son su carácter no invasivo y que permite realizar mediciones repetidas del REE lo que permite monitorizar dinámicamente las variaciones del EE del paciente en estado crítico. Algunos estudios han descrito

que el uso de CI se asocia a una reducción de la mortalidad de pacientes críticos (Singer et al., 2011) y reducción significativa de las infecciones nosocomiales (Heidegger et al., 2013).

Por todo ello se ha convertido en la herramienta de elección para la determinación de las necesidades energéticas en pacientes con VM y en aquellos con respiración espontánea, tal como han respaldado diferentes Sociedades Científicas como ESPEN (*European Society for Clinical Nutrition and Metabolism*), ASPEN (*American Society for Parenteral and Enteral Nutrition*) (McClave et al., 2016; Singer et al., 2019) o la SEMICYUC (Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias) (Vaquerizo Alonso et al., 2020).

Se recomienda evitar el uso de CI en pacientes que presenten fugas a nivel del tubo endotraqueal o del circuito ventilatorio, fistulas broncopleurales, presiones positivas al final de la espiración (PEEP) superiores a 12 mmHg o que requieran O_2 suplementario con una fracción inspirada de O_2 (FiO_2) superior a 0,6 (Arroyo Sánchez, 2020).

Entre las limitaciones descritas para la CI, además de cierta variabilidad entre los diferentes equipos, se mencionan las asociadas a situaciones fisiológicas que pueden alterar el intercambio gaseoso como la hiper o hipoventilación, cambios en el equilibrio ácido-base o alteraciones en el CO_2 , factores que deben ser considerados al interpretar los resultados y evaluar el metabolismo del paciente.

En las últimas décadas, se han desarrollado e introducido en el mercado nuevos dispositivos de CI de menor tamaño, con manejo más sencillo, menor coste y aplicables a pie de cama. Antes de la aparición de estos nuevos dispositivos, y dado que la CI no está disponible en todos los centros para su uso en la práctica clínica, las EP han sido las herramientas más utilizadas para la estimación del EE, debido a su sencillez y accesibilidad en la práctica clínica (Al-Dorzi & Arabi, 2021). Estas ecuaciones utilizan datos antropométricos (altura, peso corporal, edad, masa grasa, etc.) así como variables clínicas relativas a la VM o a la puntuación en los sistemas de evaluación de la gravedad de la enfermedad de los pacientes críticos, tales como el SOFA (*Sequential Organ Failure Assessment*), APACHE (*Acute Physiology And Chronic Health Evaluation*), SAPS (*Simplified Acute Physiologic Score*), etc. (Achamrah et al., 2021). Una de las primeras ecuaciones desarrolladas para estimar los requerimientos energéticos basales es la fórmula de Harris Benedict (HB), que se elaboró a partir de muestras poblacionales compuestas principalmente por individuos caucásicos, con peso corporal dentro de rangos normales y sin comorbilidades conocidas. Esta ecuación es la que se ha sometido a un mayor número de estudios de validación dada la antigüedad de su formulación original en 1918 (Harris & Benedict, 1918; Harris & NBenedict, 1919). Otras fórmulas utilizadas son la de Mifflin-St.

Jeor (MSJ) (Mifflin et al., 1990), la de la OMS (FAO/WHO/UNU, 2001), la de Faisy (Faisy et al., 2003), las de Penn State University (PSU) (Zusman et al., 2019), la regla del pulgar (RP) o las que utilizan distintos pesos (20-30 kcal/kg; guías ESPEN). Algunas de estas fórmulas incorporan diferentes factores de ajustes, tales como el factor de estrés metabólico asociado a la gravedad de la enfermedad de cada paciente. Figura 2 del anexo 5.

Como ya se ha mencionado para HB, también otras EP se han desarrollado a partir de poblaciones concretas sanas y con normopeso. Se ha observado que la precisión de estas EP es baja, pudiendo tanto subestimar o sobreestimar el EE cuando se aplican a poblaciones diferentes de las que se consideraron inicialmente, como pacientes con un índice de masa corporal (IMC) <16 o >40 kg/m², diabéticos o con insuficiencia renal y más aún si se trata de pacientes críticos ingresados en UCI (Bendavid et al., 2021; Schoeller, 2007; Zusman et al., 2019). Así, por ejemplo, se acepta que la ecuación HB sobreestima el REE entre el 10-15%, especialmente en personas de bajo peso, y algunos autores han comprobado que la precisión de esta ecuación es del 32% y del 64% en pacientes críticos y obesos, respectivamente (Delsoglio et al., 2019).

Además, numerosas revisiones han mostrado una escasa fiabilidad de estas EP en los pacientes ingresados en la UCI (Ang et al., 2025; Hsu et al., 2018; Jotterand Chaparro et al., 2017). Por ejemplo, pacientes adultos con disminución de masa magra y/o sarcopenia e incremento de masa grasa tienen un menor EE, o pacientes con pérdida de peso y caquexia por cáncer, EPOC, anorexia nerviosa o estancias muy prolongadas en UCI también presentan reducción del EE, que es muy difícil de determinar mediante las EP. Por el contrario, sujetos jóvenes en UCI por graves infecciones o traumatismos severos presentan un incremento del EE, que resulta igualmente difícil de determinar con precisión mediante EP. Además, el peso corporal rara vez está disponible y es difícil de evaluar con precisión en los pacientes críticos (Achamrah et al., 2021).

Ninguna ecuación predictiva ha mostrado ser más precisa que la CI en el entorno de la UCI (Morbitzer et al., 2019; Zusman et al., 2019). Por ello, la CI está especialmente indicada en pacientes en UCI (McClave et al., 2016; Singer et al., 2023), en pacientes que presenten una respuesta inadecuada a la información proporcionada por las EP, aquellos que no muestren mejoría de los parámetros clínicos tras utilizar la información de las EP. También se recomienda su aplicación en pacientes con alteraciones morfológicas como sujetos obesos o con amputaciones de miembros, en aquellos con scores de predicción de riesgo nutricional elevado y en pacientes críticos con estrés metabólico severo (sepsis, grandes quemados, pancreatitis severa, traumatismos mayores) situaciones generalmente asociadas a cambios significativos del EE a lo largo de su evolución. En estos últimos, la CI debe realizarse de forma repetida para monitorizar la

respuesta metabólica a las diferentes fases de la enfermedad crítica, dado que el TEE se modifica con el curso de la enfermedad (Delsoglio et al., 2019; Mtaweh et al., 2019).

Dispositivos de CI

Entre los sistemas de CI disponibles, los **carros o monitores metabólicos** son los más extendidos en entornos clínicos. Existen diversos dispositivos. El **Deltatrac II®** (Datex, Helsinki, Finlandia) fue el monitor metabólico más validado y se usó con frecuencia hasta que se suspendió su producción. Se ha considerado el estándar de referencia (Tissot et al., 1995) y por esto muchos estudios comparan los demás calorímetros con el Deltatrac. Otros dispositivos han llegado al mercado, cada uno con ciertas limitaciones. El **Quark RMR®** (Cosmed, Rome, Italia) puede utilizarse en pacientes con VM o ventilación espontánea; necesita un tiempo de calentamiento de unos 30 minutos y una calibración del gas que se realiza de forma automática en cada medición. El **E-COVX®** (GE Healthcare, Helsinki, Finlandia) no puede usarse en pacientes con ventilación espontánea, sólo en pacientes con VM; no necesita tiempo de calentamiento ni calibración de gas. El **Ultima CCM Express®** (Medgraphics™, EE.UU.) y el **Vmax Encore®** (Vyair Medical, EE.UU.) demostraron ser iguales o inferiores al Deltatrac® en varios aspectos (Cooper et al., 2009; Sundström et al., 2013). Vmax Encore se puede utilizar en pacientes con VM o ventilación espontánea, también necesita unos 30 minutos de calentamiento y su calibración es automática. Además de estos dispositivos, ciertos **ventiladores mecánicos** tienen funciones de CI integradas, pero su uso aún no se ha validado. Algunos dispositivos son pequeños y portátiles, como el **Fitmate®** (Cosmed, Italia) o **MedGem®** (Microlife, EE.UU.), pero no han sido validados en pacientes críticos (Moonen et al., 2021).

Diversos estudios han demostrado que algunos de estos calorímetros no son lo suficientemente precisos en sus mediciones (Graf et al., 2013; Kaviani et al., 2018; Sundström et al., 2013), lo que junto a ciertos inconvenientes en su manejo y en la interpretación de los resultados han llevado a un uso limitado en la práctica clínica (De Waele et al., 2013; De Waele & van Zanten, 2022).

Para superar las desventajas de los dispositivos mencionados anteriormente, un grupo de trabajo de expertos en colaboración con la Sociedad Europea de Medicina Intensiva (ESICM) y la ESPEN, en el marco del proyecto *International Multicentric Study Group for Indirect Calorimetry (ICALIC)*, desarrolló un calorímetro de nueva generación, el **Q-NRG®** (Cosmed, Italia), con el fin de lograr la máxima precisión en la medición del EE de una forma más sencilla y accesible (Oshima et al., 2017). El proyecto ICALIC es un estudio multicéntrico en el que participaron diversos centros hospitalarios universitarios internacionales de tres continentes, en ciudades como Ginebra, Bruselas, Lausana, Viena,

Estocolmo, Tel Aviv o Tübingen, y cuyo objetivo era evaluar el rendimiento de este nuevo dispositivo Q-NRG en condiciones reales de práctica clínica comparándolo con otros calorímetros.

Posteriormente, en septiembre de 2019 se desarrolló el Q-NRG+ (Baxter International Inc) y fue en mayo de 2020 cuando la FDA autorizó su comercialización. Se trata de una versión avanzada que, a diferencia del Q-NRG original, está certificado como dispositivo médico (MDR). Según la información técnica disponible, Q-NRG es el primer sistema de CI diseñado específicamente para medir el REE. Incluye mejoras para la práctica clínica en comparación al Q-NRG, como un diseño más robusto, con un soporte para cilindros de gas, cesta de accesorios dedicados (mascarillas de varios tamaños, interfaces de silicona y canopy) y opciones de montaje VESA para fijarlo a postes o rieles en hospitales, facilitando su movilidad y uso en la UCI, además de presentar un sistema de limpieza fácil y con accesorios desechables. También se caracteriza por su mayor facilidad de uso, teniendo un manejo rápido y simplificado, con una pantalla táctil intuitiva que facilita el acceso a todas las operaciones, y que puede conectarse a cualquier *hub* o red mediante bluetooth, USB y LAN. Q-NRG no necesita calibraciones complejas por parte del usuario. Consta de un panel de control avanzado donde se muestran los datos metabólicos y respiratorios en tiempo real, y se ofrecen algunos parámetros de control de calidad. Con este dispositivo se ha conseguido reducir el tiempo de medición, obteniendo mediciones válidas y fiables en unos 10 minutos.

El Q-NRG ha sido validado *in vitro* en comparación con la espectroscopia de masas (*gold standard* para medir la composición de los gases) y proporciona mediciones altamente precisas del REE (Oshima et al., 2019; Wischmeyer et al., 2021). También se ha comparado la precisión y grado de acuerdo entre Q-NRG y Q-NRG+ y otros dispositivos como Deltratac, dispositivo que ha sido considerado como el patrón oro en la práctica clínica, o con el simulador metabólico VacuMed, encontrando un alto grado de acuerdo y repetibilidad en los resultados (Fadour et al., 2025; Falcioni et al., 2025).

La exactitud de las mediciones del REE con Q-NRG se garantizan por una calibración automática del aire de la habitación justo antes de cada medición y sólo es necesario realizar una vez al mes la calibración de gas (con un kit que incluye un cilindro de 3,6 l con mezcla de gas certificada y un manómetro a presión) y la calibración de flujo/volumen (con un kit que incluye una jeringa certificada de 3 l y adaptadores) (Delsoglio et al., 2020; Oshima et al., 2019).

El Q-NRG permite medir en tiempo real los valores metabólicos y ventilatorios, así como otros parámetros de calidad. Estos valores son el VO_2 , el VCO_2 , REE, RQ, FiO_2 , fracción inspirada de CO_2 (FiCO_2), fracción espirada de O_2 y de

CO_2 (FeO_2 , FeCO_2), coeficiente de variabilidad (CV) y duración del registro. Se recoge el valor medio de la tasa de consumo de O_2 y de producción de CO_2 cada 30 segundos. La medición de O_2 no es fácil de realizar a pie de cama, en pacientes en VM. Un error de un 1% en la medición de O_2 a una FiO_2 del 40% conlleva un error de un 15% en la estimación del VO_2 . Por el contrario, la medición de VCO_2 se puede realizar fácilmente en el aire exhalado siempre que el paciente esté estable. En estas circunstancias, el VCO_2 medido en la boca del paciente corresponde al VCO_2 metabólico periférico. Para reducir posibles errores en la medición de VCO_2 se recomienda prolongar el tiempo de registro. Se considera que el paciente en VM se encuentra en un estado estable o de equilibrio si el CV del VO_2 y VCO_2 es $\leq 5\%$ para mediciones de 5 min o $\leq 10\%$ para mediciones de 30 min y los cambios en el RQ son $< 5\%$ (Cunningham et al., 1994; McClave et al., 2003). El valor de RQ dentro del rango fisiológico de 0,67 a 1,3 valida las mediciones de CI; puede estar fuera de este rango si existen fugas de aire en el circuito respiratorio, dolor intenso o agitación del paciente durante la medición o si se han realizado procedimientos recientes que afecten al intercambio de gases, por ejemplo, si el paciente se ha sometido a hemodiálisis.

El dispositivo también cuenta con una segunda cámara de mezcla para estabilizar las lecturas de FiO_2 durante el modo de VM, ya que la inestabilidad de las lecturas de FiO_2 puede generar errores en las mediciones de EE. Otra característica del Q-NRG que favorece su precisión es el muestreo de aire espirado y la medición del flujo en las inmediaciones de la boca del paciente, que limita el efecto de potenciales fugas de aire en el sistema y explica la discrepancia que a veces se observa con otros dispositivos de CI (Oshima et al., 2020).

Puede utilizarse en pacientes en VM o con respiración espontánea, y con diversas técnicas (canopy y/o máscara) en población adulta y pediátrica. El modo ventilador se utiliza en pacientes con VM y FiO_2 hasta 75%. Se coloca un flujómetro desechable en serie en el circuito del paciente y se miden los gases inhalados/exhalados mediante dos líneas de muestreo conectadas al circuito del paciente y a la salida del respirador. El modo canopy se utiliza en pacientes con respiración espontánea; los gases exhalados se diluyen dentro de la campana y la medición del flujo de dilución y las concentraciones de O_2 y CO_2 permiten calcular el VO_2 y VCO_2 . Por último, el modo máscara facial se emplea en sujetos con respiración espontánea que no puede utilizar el canopy (por ejemplo, en personas con necesidades especiales o con claustrofobia). En esta modalidad, el flujómetro y una línea de muestreo se conectan directamente a la máscara para medir el VO_2 y VCO_2 .

Los resultados del Q-NRG reflejan las variaciones del estado metabólico asociadas al curso de la enfermedad y mediante mediciones seriadas es posible monitorizar la evolución clínica y metabólica del paciente (Rattanachaiwong &

Singer, 2019). Q-NRG requiere un tiempo menor para determinar el EE en pacientes de UCI con VM frente a otros dispositivos existentes. Además, Q-NRG permite obtener mediciones precisas en un espectro más amplio de pacientes, incluyendo aquellos con FiO₂ elevada (FiO₂ hasta un 70%) y con niveles superiores de la PEEP. Su utilización facilita la optimización de la prescripción del tratamiento nutricional mediante la determinación individualizada de los requerimientos energéticos, lo que contribuye a prevenir tanto la desnutrición como la sobrenutrición, situaciones asociadas a resultados clínicos adversos. Todo ello puede favorecer la reducción de la estancia hospitalaria y con ello la reducción de los costes en UCI. No obstante, la información publicada sobre si la CI mejora los resultados en salud aún no es concluyente. En general, las **condiciones clínicas** que deben cumplirse para garantizar la fiabilidad y validez de los resultados de la CI son las siguientes (Kaviani et al., 2018; Mtaweh et al., 2018; Oshima et al., 2020):

- Primero debe realizarse el calentamiento y calibración del neumocromatógrafo y de los analizadores del gas a 21% (el nivel de oxígeno ambiental) en aquellos dispositivos que lo precisen según su ficha técnica.
- Sobre el ventilador: fracción de oxígeno inspirado $\leq 60\%$ para los calorímetros indirectos y $< 70\%$ para Q-NRG; PEEP ≤ 12 mm H₂O; y frecuencia respiratoria total < 35 respiraciones por minuto.
- Que no haya fugas de aire en el circuito respiratorio (ni en el tubo endotraqueal ni en el manguito del tubo de traqueotomía, ni en el tubo de drenaje torácico).
- También se requiere una adecuada preparación del paciente, en decúbito supino durante unos 30 minutos antes del inicio, en un entorno tranquilo a una temperatura de unos 25 °C, sin modificar los parámetros ventilatorios al menos 90 minutos antes de la CI, con una FiO₂ constante durante todo el estudio. Se debe mantener el tratamiento nutricional continuo (ya sea nutrición enteral o parenteral) durante al menos 12 h previas a la realización de la CI; no debe haber recibido anestesia general en las últimas 12 h; ni hemodiálisis intermitente en las últimas 4-6 h (sí puede seguir utilizando la terapia de reemplazo renal continua (CRRT) o la hemodiálisis venovenosa continua); no puede presentar hipotermia, ni agitación, convulsiones o temblores activos; ni puede haber sido sometido a cambios de apósitos por quemaduras ni procedimientos dolorosos en la última hora; no debe estar recibiendo oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO).

- Los parámetros del respirador del paciente no deben haber sido modificados en los 30 minutos previos al inicio de la medición ni durante la realización de la medición.

No obstante, su utilización no es aplicable en todos los pacientes por lo que es fundamental que el equipo clínico sea consciente de las limitaciones técnicas inherentes. Las exclusiones técnicas para la medición durante la VM incluyen, entre otras, fugas en el circuito del ventilador y niveles elevados de PEEP. Las mediciones también se ven limitadas en pacientes que respiren de forma espontánea y que requieran ventilación no invasiva u oxígeno suplementario, pacientes con delirio y aquellos en los que se aíslan organismos multirresistentes (Sundström et al., 2013). El aislamiento de organismos multirresistentes se considera una posible exclusión técnica para la medición por CI, por el potencial riesgo de contaminación del calorímetro y sus componentes. Estas limitaciones son de carácter logístico y están relacionadas con el control de infecciones, más que inherentes a la propia tecnología de medición.

Finalmente, hay que tener en cuenta otras consideraciones para un uso adecuado de la CI como la necesidad de cierta capacitación de los profesionales para garantizar una utilización e interpretación precisas de las mediciones. También es importante contar con el tiempo necesario para completar las mediciones y realizar la posterior adaptación del tratamiento nutricional, considerando que en períodos de baja disponibilidad de personal o alta carga asistencial, la realización sistemática de mediciones completas puede ser difícil de realizar. Además, requiere de la financiación adecuada para el mantenimiento de consumibles y dispositivos (Sundström et al., 2013).

Este informe surge a petición de la Comisión de Prestaciones, Aseguramiento y Financiación en el proceso de identificación y priorización de necesidades de evaluación que se lleva a cabo para conformar el Plan de Trabajo Anual de la Red Española de Agencias de Evaluación de Tecnologías Sanitarias y prestaciones del SNS.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El **objetivo principal** es estudiar la efectividad y seguridad del dispositivo Q-NRG+ en la medición del EE para una optimización del tratamiento nutricional de los pacientes críticos, en comparación con las EP y con otros calorímetros o monitores metabólicos convencionales empleados en la actualidad a partir de la evidencia científica publicada.

Objetivos específicos

Revisar estudios publicados sobre percepciones de pacientes críticos adultos y/o sus familiares respecto a cuestiones nutricionales y tratamiento nutricional durante el ingreso en UCI.

Revisar los datos publicados sobre costes del dispositivo y otros sistemas de medición del EE, sobre el potencial ahorro generado al evitar el uso de otros dispositivos no efectivos, el potencial ahorro derivado de un menor número de eventos adversos y otros posibles datos relativos a costes informados en la literatura científica.

2.2. Alcance

Con este informe se intenta responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el papel de los monitores de CI? En concreto, ¿cuál es la efectividad del dispositivo de reciente incorporación Q-NRG+ (Cosmed), en el estudio de las necesidades nutricionales de los pacientes críticos en cada momento, durante el ingreso en la UCI? Se pretende estudiar la precisión de la medición del EE de este nuevo dispositivo en comparación con las EP **más utilizadas y otros calorímetros o** monitores metabólicos convencionales utilizados en la actualidad. Estos sistemas se consideran más costosos, complejos, presentan menor portabilidad y, en la mayoría de los casos, requieren personal con formación específica y experiencia tanto para su correcta utilización como para su mantenimiento, especialmente en el contexto asistencial de la UCI.

El nuevo dispositivo Q-NRG+ permitirá un ajuste óptimo e individualizado del tratamiento nutricional del paciente crítico contribuyendo así a mejorar su evolución clínica, a una disminución de su estancia en la UCI y de los costes sanitarios.

Se espera que el impacto organizativo sea moderado. Se requerirá formación de los profesionales en la utilización del monitor Q-NRG+, tanto para el personal **médico como para el personal de enfermería. Además, se** definirá el momento óptimo para la realización de las mediciones mediante este dispositivo con la intención de minimizar la carga asistencial del personal implicado y optimizar la organización de la UCI.

Este informe va dirigido a los profesionales sanitarios y especialmente a los gestores y/o decisores en políticas sanitarias, nacionales y de las diferentes CCAA. El objetivo final del mismo es aportar información sobre la efectividad del dispositivo Q-NRG+ a partir de la evidencia disponible que contribuya a apoyar el proceso de toma de decisiones para la implantación de este dispositivo en las UCIs.

3. Metodología

Se ha realizado una revisión sistemática de los artículos publicados de estudios comparativos entre la monitorización Q-NRG+ y las EP como herramientas de tratamiento nutricional de pacientes con diferentes patologías en el contexto asistencial de la UCI.

En la elaboración de este informe se siguió el manual metodológico de EUnetHTA (*HTA Core Model for Medical and Surgical Interventions* 1.0) (23) y la Guía para la elaboración y adaptación de informes rápidos de evaluación de tecnologías sanitarias (ETS) desarrollada en el marco de desarrollo de las actividades de la Red Española de Agencias de ETS y Prestaciones del SNS RedETS (24).

3.1. Criterios de selección de estudios

Se consideraron los siguientes criterios de inclusión recogidos en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión

Participantes	Pacientes adultos críticos ingresados en UCI, por cualquier patología.
Intervención	Monitor metabólico Q-NRG o Q-NRG+ (dispositivo de CI).
Comparadores	EP o fórmulas simples u otros dispositivos de CI.
Medidas de resultados	• El REE medido por CI mediante Q-NRG o Q-NRG+ y el predicho por las EP, por fórmulas simples o el obtenido por otros calorímetros indirectos en UCI. • Comparación entre otras mediciones obtenidas mediante el dispositivo Q-NRG o Q-NRG+ y las mediciones de las EP, las fórmulas simples y otros dispositivos de CI. • Concordancia o grado de acuerdo de los valores de diferentes instrumentos de medición. • Influencia en tratamiento nutricional. • Beneficios centrados en el paciente. • Costes del dispositivo y de los filtros. Costes de la utilización de la monitorización Q-NRG+. Potenciales ahorros derivados de su uso en la UCI.
Tipo de estudios	• Para estudios de efectividad diagnóstica y de seguridad se utilizan artículos primarios de estudios observacionales o de ensayos clínicos aleatorios (ECAs), si están disponibles. También se analizan las revisiones sistemáticas, meta-análisis, informes de evaluación de tecnologías sanitarias, guías de práctica clínica (GPC) o documentos de consenso de sociedades científicas. • Para la revisión de la patología y tecnología en estudio se consideran revisiones sistemáticas con y sin meta-análisis, revisiones de alcance o revisiones narrativas, guías clínicas o documentos de consenso de sociedades científicas. • Para la revisión sobre los costes del dispositivo, los potenciales ahorros generados y los beneficios centrados en el paciente se seleccionan los estudios de evaluación económica, de coste efectividad o coste-utilidad.
Idioma de publicación	Español e inglés.
Años de publicación	Desde el 1 de enero de 2015 hasta el 1 de mayo de 2025.

3.2. Criterios de exclusión

Se consideraron los siguientes criterios de exclusión/no inclusión:

- Estudios con población infantil, mujeres embarazadas o lactantes.
- Estudios que no aporten suficientes datos para la comparación de resultados cuantitativos.
- Estudios de un caso, revisiones narrativas, editoriales, *abstracts* de congresos, cartas al director y artículos de opinión.
- Artículos todavía en proceso de publicación en la fecha de realización de la búsqueda.
- Estudios primarios duplicados, con pacientes incluidos en estudios posteriores realizados por la misma institución.

3.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de literatura científica se consultaron las bases de datos de Medline y Embase (a través de Ovid), y la biblioteca Cochrane (<https://www.cochranelibrary.com/>).

Se buscaron informes de ETS en RedETS (<https://redets.sanidad.gob.es/>), *International Network of Agencies for Health Technology Assessment* (INHA-TA, <https://www.inahta.org/>), *National Institute for Health and Care Excellence* (NICE) (<https://www.nice.org.uk>), *eGuidelines* (<https://eguidelines.co.uk>), *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health* (CADTH, <https://www.cadth.ca>), *The Agency for Healthcare Research and Quality* (AHRQ, <http://www.ahrq.gov/research/index.html>).

También se realizaron búsquedas en sitios web de asociaciones y sociedades médicas relacionadas con la nutrición en UCI y el método de la CI, como son la ESICM, la ESPEN y la SEMICYUC.

Además, se buscaron GPC en los siguientes repositorios: *GuiaSalud* (<https://portal.guiasalud.es/>), *ECRI* (<https://guidelines.ecri.org/>), *National Health and Medical Research Council* (<https://www.nhmrc.gov.au/guidelines>) y en *Guideline Central* (<https://www.guidelinecentral.com/>).

Finalmente, se realizaron búsquedas en la Biblioteca Virtual de Ciencias de la Salud y en Scielo, así como búsquedas libres en internet y manuales a partir

de las referencias de los estudios seleccionados y de algunas revisiones sistemáticas y narrativas consideradas de interés para este informe.

Para las búsquedas en Ovid, se emplearon los siguientes términos MeSH: Indirect calorimetry, Critical care, Intensive Care. Además, se utilizaron términos libres, combinados con los MeSH mediante operadores booleanos, de truncamiento y de proximidad. Los términos libres para efectividad diagnóstica fueron los siguientes:

- Relativos a la CI: Metabolic monitor, Q-NRG, Q-NRG+, VCO₂, VO₂, Energy delivery, Resting energy expenditure, Energy expenditure, Resting metabolic rate.
- En relación a pacientes críticos en UCI: Critical Illness, Intensive Care Units, Burn Units, Coronary Care Units, Respiratory Insufficiency, Multiple Organ Failure.
- Referentes a los costes: se utilizaron los términos MeSH Cost-effectiveness analysis y Cost-benefit analysis (incluye cost-utility analysis), y como términos libres, cost-utility analysis, economic analysis, economic evaluation.

Para las búsquedas libres en internet y en fuentes de información en español, se utilizaron los siguientes términos: Calorimetría indirecta, Gasto de energía en reposo, Ecuaciones predictivas, Soporte nutricional, Tratamiento nutricional, Terapia nutricional, Pacientes críticos, Cuidados Intensivos, UCI, Coste-efectividad, Evaluación económica.

Las estrategias de búsqueda utilizadas se presentan en las tablas 9, 10 y 11 del anexo 1.

3.4. Proceso de selección de estudios

El proceso de selección de estudios se realizó por pares, de forma independiente, entre las dos investigadoras, aplicando los criterios de inclusión y exclusión establecidos *a priori*. Los desacuerdos surgidos se resolvieron por consenso.

3.5. Evaluación crítica del riesgo de sesgo

La evaluación del riesgo de sesgo se realizó por pares y de forma independiente. Los desacuerdos se resolvieron por consenso entre las investigadoras.

Dado el tipo de estudios incluidos en el informe, se decidió valorar la calidad metodológica y riesgo de sesgo utilizando el *checklist* del IHE (*Institute of Health Economics*, Alberta, Canadá) para series de casos.

3.6. Extracción de datos

La extracción de datos se realizó de forma independiente por las dos investigadoras. Los datos de los estudios incluidos se extrajeron en forma de tablas, a partir de las cuales se realizó el análisis descriptivo de los estudios. Los datos extraídos de las publicaciones fueron los siguientes:

- Datos identificativos de cada estudio: título, autor principal, año de publicación, revista, país donde se realizó el estudio.
- Características de los estudios: tipo de estudio, diseño y calidad metodológica del estudio, periodo de estudio, estudio unicéntrico o multicéntrico y en este caso, número de centros hospitalarios incluidos, criterios de inclusión y exclusión, y si hubo o no cegamiento en la interpretación de las pruebas.
- Datos de la población y patología presentada por los pacientes: número, características de los pacientes críticos (edad, sexo, peso corporal, VM invasiva o no, respiración espontánea...), diagnóstico en el momento del ingreso en UCI, presencia o no de fiebre, el tipo de tratamiento nutricional (nutrición entera o parenteral), si el paciente se encuentra o no bajo sedación, patologías concomitantes, gravedad de la enfermedad (y puntuación si se utiliza alguna escala de severidad de la enfermedad). En pacientes sometidos a VM, se recogerá la FiO_2 y PEEP.
- Datos sobre la tecnología: forma de medición (a través de dispositivo-calorímetro o EP o fórmulas simples), tipo de dispositivo de CI, tiempo/s en que se realizaron las mediciones o la aplicación de las EP o fórmulas (primera vez, medidas repetidas), profesionales que utilizan el dispositivo de CI o que aplican las EP o fórmulas.
- Datos referentes a la terapia nutricional: formas de administración (enteral, parental o ambas), tratamiento nutricional administrado.

- Se consideraron las siguientes medidas de resultado:
 - VO_2 (ml/min), VCO_2 (ml/min), RQ, REE (kcal/día; media y desviación estándar), aporte energético administrado, balance energético medio diario, aporte proteico medio administrado.
 - Tiempo mínimo requerido para la obtención de las mediciones del REE (min).
 - Tiempo para alcanzar un estado estacionario (min).
 - Duración de la estancia en UCI y estancia hospitalaria (días).
 - Duración de la VM.

Como medidas de resultado relacionadas con la seguridad se recogieron las siguientes:

- Mortalidad en UCI, mortalidad hospitalaria, mortalidad a los 28 días, mortalidad a los 90 días.
- Desarrollo o no de infecciones nosocomiales.
- Otros eventos adversos definidos en cada estudio.

Las medidas de impacto económico fueron las siguientes:

- Duración de la estancia hospitalaria y en la UCI (días).
- Costes, resultados de coste-efectividad o coste-beneficio, potenciales ahorros.

3.7. Síntesis de los datos

- Se realizó un análisis descriptivo y narrativo de las tablas de evidencia.
- Se analizaron las limitaciones encontradas en los estudios analizados.

3.8. Participación de pacientes

En este informe, acorde con el “Procedimiento de participación de pacientes en los informes de ETS de la RedETS” (Toledo-Chávarri et al., 2020), se intentó contactar inicialmente con pacientes críticos que hubieran estado ingresados en la UCI y/o con sus familiares, pero no fue posible una respuesta afirmativa. Además, en el informe se ha pretendido abordar cuestiones muy técnicas que han dificultado la colaboración de familiares y/o cuidadores.

Por otro lado, se llevó a cabo una revisión rápida de la literatura para una aproximación a las percepciones, necesidades y vivencias de pacientes críticos adultos y familiares. Si bien existe un cuerpo emergente de estudios mixtos o cualitativos sobre las experiencias de pacientes adultos con enfermedades críticas en la UCI, los estudios sobre percepciones y preferencias con un enfoque particular en nutrición son muy escasos.

4. Resultados

4.1. Resultado de la búsqueda sistemática de la literatura

La búsqueda sistemática de literatura sobre efectividad del Q-NRG o Q-NRG+ en las bases de datos de publicaciones científicas permitió identificar 888 referencias en OVID: 389 en Medline, 432 en EMBASE y 67 en la biblioteca Cochrane. Tras eliminar un total de 407 referencias duplicadas de estas tres bases de datos, quedaron 481. Además, la búsqueda manual permitió localizar 4 estudios primarios en los que se utilizaba Q-NRG, 2 revisiones sistemáticas sobre CI, 6 GPC localizadas en los repositorios de guías escritas sobre tratamiento nutricional en pacientes en UCI y sobre el uso de CI, y 2 artículos cualitativos sobre experiencias de familiares y pacientes relacionados con la nutrición en UCI, quedando un total inicial de 495 referencias seleccionadas.

Tras la lectura del título y resumen de estas referencias se descartaron 456, dejando 39 artículos potencialmente elegibles, que fueron recuperados para su lectura a texto completo, tras la cual se excluyeron 19 artículos. Los artículos primarios excluidos y los motivos de su exclusión se presentan en la tabla 12 del anexo 3.

Finalmente, se seleccionaron 6 artículos de estudios primarios para su análisis. También se analizaron 5 revisiones sistemáticas con meta-análisis sobre el uso calorímetros indirectos en comparación a las EP en pacientes críticos, 6 GPC y 2 estudios cualitativos. No se localizó ningún informe de ETS.

En la figura 1 del anexo 2 se muestra el diagrama de este proceso de selección de estudios.

4.2. Valoración de la calidad metodológica de los estudios

Para la evaluación de la calidad del reporte de resultados de los estudios incluidos se ha utilizado la lista de verificación IHE ((IHE), 2014).

Para esta revisión, la pregunta número 13 de este listado (sobre si las medidas de resultados se tomaron antes y después de la intervención) se consideró no aplicable. De las restantes 18 preguntas, casi el 70% de las respuestas fue-

ron afirmativas, cerca del 29% fueron negativas y un 1,75% fueron respuestas parciales o poco claras. Las parciales o poco claras se referían a los criterios de elegibilidad de los pacientes, en concreto, no se establecieron de forma clara los criterios de exclusión en dos estudios (Chung et al., 2024; Pelekhaty et al., 2025). En cuanto a las respuestas calificadas con un “no” han sido las referidas a la recogida de casos en más de un centro (pues sólo un estudio era multicéntrico), al reclutamiento no consecutivo de pacientes (que no aparece mencionado como tal en ninguno de los estudios) o a si los pacientes entraron al estudio en estadios similares de la enfermedad (que no lo fue en dos estudios (Chung et al., 2024; Pelekhaty et al., 2025); pero, también, se han valorado con un “no” las preguntas sobre la falta de cegamiento por parte de los evaluadores, la ausencia de notificaciones de eventos adversos y la falta de información sobre declaración de intereses por parte de los autores y sobre si hubo o no financiación de los estudios, que sólo se menciona en dos de ellos (Niederer et al., 2021; Oshima et al., 2020). Ver anexo 4.

4.3. Características y resultados de los estudios

Los seis estudios (Chung et al., 2024; Lakenman et al., 2024; Niederer et al., 2021; Oshima et al., 2020; Pelekhaty et al., 2025; Taboni et al., 2023) seleccionados presentan un diseño observacional y son prospectivos, salvo el de Chung y cols. (Chung et al., 2024). Ninguno es un ensayo clínico. Todos son estudios unicéntricos, salvo el de Oshima y cols. (Oshima et al., 2020) que se realizó de manera multicéntrica en 6 países. Las poblaciones incluidas en estos estudios presentan características clínicas diferentes, aunque todos estaban ingresados en UCI y la mayoría son pacientes en VM. En dos estudios (Oshima et al., 2020; Taboni et al., 2023) sólo se informa de que son pacientes de UCI; dos estudios incluyen pacientes con covid-19 (Lakenman et al., 2024; Niederer et al., 2021); uno se centra en pacientes con traumatismos severos (Pelekhaty et al., 2025); y otro sólo considera pacientes oncológicos (Chung et al., 2024). El tamaño muestral total de estos estudios es pequeño y muy variable, desde 19 pacientes en uno de ellos (Chung et al., 2024) a 277 pacientes en el estudio multicéntrico (Oshima et al., 2020).

Dos estudios (Niederer et al., 2021; Oshima et al., 2020) utilizan el dispositivo Q-NRG mientras que los cuatro restantes utilizan el Q-NRG+. El número de mediciones, cuando se comunica, es también muy variable: de 97 mediciones de CI en 38 pacientes en el estudio de Niederer y cols. (Niederer et al., 2021) a 235 mediciones en 146 pacientes en el de Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024).

Como grupo comparador se utilizan las EP, excepto en el estudio de Oshima y cols. (Oshima et al., 2020) donde el Q-NRG se compara con otros calorí-

metros indirectos. En el análisis comparativo, en la misma población de pacientes seleccionados se recogen los datos de los dos procedimientos o herramientas empleadas, tanto las mediciones del EE obtenidas con el calorímetro Q-NRG y los otros calorímetros como las estimaciones obtenidas de las EP. Las EP en el grupo comparador son diversas. La ecuación HB está presente en todos los estudios que usan EP, salvo en uno (Pelekhaty et al., 2025). Otras EP empleadas en la comparación fueron la ecuación MSJ, las PSU Equations, los límites superior e inferior de los rangos de las ecuaciones basadas en el peso de ASPEN-SCCM (*Society for Critical Care Medicine*), las ecuaciones basadas en el peso (20, 25 y 30 kcal/kg), la ecuación de Schofield para población adolescente y la RP.

En todos los estudios se aplica el Q-NRG siguiendo las indicaciones del fabricante, en pacientes estables que cumplen las mismas condiciones clínicas para realizar el estudio de CI y se aceptan los mismos criterios para considerar válidas las mediciones del Q-NRG. Sólo dos estudios informan sobre la duración del procedimiento de la CI: 11 min (Lakenman et al., 2024) y entre 15 y 20 minutos (Chung et al., 2024), y en el estudio de Oshima y cols. (Oshima et al., 2020) se mide y compara el tiempo empleado con Q-NRG y con los otros calorímetros indirectos utilizados.

Los resultados de los seis estudios se analizan y se presentan de forma diversa. Todos los estudios aportan resultados del mREE y pREE y se comparan mediante diferentes tests para valorar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. También se estudia el grado de acuerdo o concordancia entre el Q-NRG y las EP utilizadas, salvo en el estudio de Niederer y cols. (Niederer et al., 2021). Este grado de acuerdo o concordancia se analiza mediante el gráfico de Bland-Altman, situando la media de mREE y pREE $(mREE + pREE)/2$ en el eje de abscisas y la diferencia entre mREE y pREE $(mREE - pREE)$ en el eje de ordenadas. La línea sólida es el sesgo (*bias*) o diferencia media de las técnicas comparadas y las líneas discontinuas representan los límites de acuerdo superior e inferior $(sesgo \pm 1,96 \text{ SD (desviación estándar)})$. La precisión de la medición sería el SD del sesgo. Para ver la correlación entre los resultados de la CI y las EP, Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024) también calculan el coeficiente de correlación intraclase (ICC), mientras que Chung y cols. (Chung et al., 2024) utilizan el coeficiente de correlación de Pearson.

Taboni y cols. (Taboni et al., 2023) aplican el Q-NRG+ y las EP a dos niveles diferentes de FiO_2 , del 40% y 60%; Niederer y cols. (Niederer et al., 2021) estratifican los resultados en función de si los pacientes eran o no obesos y según la semana de VM en que se encontrara el paciente. Pelekhaty y cols. (Pelekhaty et al., 2025), además, evalúan la evolución de las necesidades energéticas en función del tiempo de estancia en la UCI. Estas diferencias en los análisis entre estudios dificultan sintetizar los resultados.

Aunque en dos estudios (Lakenman et al., 2024; Pelekhaty et al., 2025) se proporciona cierta información sobre el tratamiento nutricional, en general en los artículos no se describe el aporte o tratamiento nutricional establecida a partir de la información aportada por los procedimientos empleados, bien el Q-NRG o las EP, por lo que no es posible valorar ni comparar el impacto clínico de ambos tipos de herramientas. Tampoco en los estudios seleccionados se analizan variables de resultado de mortalidad (a corto y medio plazo), ni si existe relación con posibles infecciones nosocomiales ni se analizan otros potenciales eventos adversos. Cuatro estudios (Lakenman et al., 2024; Niederer et al., 2021; Pelekhaty et al., 2025; Taboni et al., 2023) mencionan el tiempo de estancia en UCI, mientras que en ninguno se ofrecen datos sobre la duración de la estancia hospitalaria. La duración de la VM es recogida en dos estudios (Niederer et al., 2021; Taboni et al., 2023). Otros dos estudios (Niederer et al., 2021; Pelekhaty et al., 2025) dan el porcentaje de mortalidad en la población seleccionada.

Las características y las principales variables de resultados de los estudios incluidos se presentan de forma resumida en la tabla 2.

Tabla 2. Características y variables de resultados de los estudios incluidos.

Estudio	Población en UCI	Comparación	Medidas de resultados
Oshima (Oshima et al., 2020). Japón, Suiza, Suecia, Israel, Austria y Bélgica.	No se especifica patología. Pacientes en VM invasiva. 277 adultos.	Otros calorímetros indirectos.	• Tiempo de medición (minutos, media $\pm$ SD). • Comparación de tiempos entre Q-NRG y los otros dispositivos. Diferencias de medias, en minutos. • Mediciones EE (kcal). Diferencia de medias $\pm$ SD. • Grado de acuerdo entre los calorímetros (Bland-Altman).
Taboni (Taboni et al., 2023). Spedali Civili, Brescia, Italia. Unicéntrico.	VM y estancia estimada UCI de al menos 48 horas. 27 adultos. 20 hombres, 7 mujeres. 63,9 $\pm$ 16,1 años. IMC medio: 27,2 (SD=5,2).	• HB con y sin aplicación del factor global de estrés (=1,3). • Protocolo nutricional basado en pautas de las guías ASPEN (REE-W).	• mREE y pREE. • Mediciones de REE con Q-NRG+ para una FiO₂ al 40% y 60% • Comparación de los resultados entre mREE y REE-HB, REE-HBsf y REE-W. • Concordancia entre mediciones VO₂ y VCO₂ a una FiO₂ del 40% y 60%.

Estudio	Población en UCI	Comparación	Medidas de resultados
Niederer (Niederer et al., 2021). Centro médico universitario de Duke, EE.UU. Unicéntrico.	Covid-19 que recibían o a la espera de recibir VM durante más de 48 h. 38 pacientes. 61% hombres, 47% población negra, 71% población no hispana, 58% obesos. Edad mediana: 61 años (25-88) IMC medio: 31,8 ± 1,4 kg/m ² .	• HB • MSJ • PSU 2003b y PSU 2010 • Guías ASPEN-SCCM (límites superior e inferior).	• mREE con Q-NRG y pREE. • Valores medios de mREE por semanas, en semanas 1, 2, 3 y semanas 4-7. • Comparación de REE medido por CI y predicho entre grupos pacientes obesos y no-obesos.
Lakenman (Lakenman et al., 2024). Centro médico Erasmus, Rotterdam, Países Bajos. Unicéntrico.	Covid-19 en VM. 146 adultos. 71% hombres. Edad mediana: 62 años (IQR:52;70).	• Fórmula de la OMS. • HB (si IMC >30 kg/m₂).	• mREE con Q-NRG+ y pREE. • Diferencia media entre mREE y pREE. • Grado de acuerdo entre mREE y pREE. • ICC entre mREE y pREE.
Pelekhaty (Pelekhaty et al., 2025). Centro médico universitario de Maryland, Baltimore, EE.UU. Unicéntrico.	Traumatismo grave y en VM. 117 pacientes. 94 hombres, 23 mujeres. Dos grupos de edad: ≤19 años (mediana de 72 años y IQR=67;77) o ≥65 años, (mediana de 17 años y IQR=17;17).	• EP con pesos de 20, 25 y 30 kcal/kg. • PSU 2003b. • MSJ. • Ecuación de Schofield (población adolescente).	• mREE con Q-NRG+ y pREE. • Comparación de mREE y pREE (test de Wilcoxon). • Grado de acuerdo (Bland-Altman). • Evolución de las necesidades energéticas en el tiempo.
Chung-Sang (Chung et al., 2024). Guayaquil, Ecuador. Unicéntrico.	Pacientes oncológicos con y sin VM. 19 pacientes. 9 hombres, 10 mujeres. Edad media de 53,68 ± 15,79 años. IMC de 26,34 (± 4,91).	• HB, sin factor de corrección. • RP.	• mREE con Q-NRG+ y pREE. • Comparación de medias. • Correlación. • Grado de acuerdo (Bland-Altman). CI y EP se aplican a las 48 h del ingreso y de forma simultánea. Tiempo de duración de la medición con CI: 15-20 minutos.

FiO₂: fracción inspirada de oxígeno al 40% y 60%. HB: ecuación de Harris-Benedict. ICC: coeficiente de correlación intraclase. IMC: índice de masa corporal. IQR: rango intercuartílico. MSJ: ecuación de Mifflin-St. Jeor. mREE: gasto energético en reposo medido con CI. pREE: gasto energético en reposo estimado con las ecuaciones predictivas. PSU: *Penn State University Equations*. RP: regla del pulgar. VM: ventilación mecánica.

En la tabla 3 se recogen los principales resultados de los estudios incluidos

en este informe.

Tabla 3. Principales resultados de los estudios incluidos.

Estudio	Resultados Q-NRG vs comparador	Otros resultados
Oshima (Oshima et al., 2020).	• Tiempo para obtener mediciones válidas con Q-NRG fue significativamente inferior que con Deltatrac®, Quark RMR® y V-max®. No hubo diferencias con E-COVX®. • Fiabilidad de las mediciones: similares entre Q-NRG® y Deltatrac® en dos centros y E-COVX®, pero diferentes de forma significativa entre Q-NRG y Deltatrac® en Tel-Aviv, Quark RMR® y con V-max®. • Bland-Altman: la mayor diferencia en los límites de concordancia fue con el V-max® ($\pm 1.308,1$), seguido del Quark RMR® ($\pm 512,9$), y varió entre los centros con el Deltatrac® ($\pm 309,3 \sim \pm 643,3$).	• Diferencias de medias (minutos, media $\pm$ SD) entre el tiempo de la medición con Q-NRG® y Deltratac®: $-32,3 \pm 2,5$ en el centro de Ginebra, $-26,4 \pm 7,8$ en el de Tel Aviv y $-28,5 \pm 3,5$ en el de Viena; entre Q-NRG® y Quark RMR® fue $-32,3 \pm 3,1$ y entre Q-NRG® y Vmax® $-33,7 \pm 1,4$. No hubo diferencias entre el tiempo de medición con Q-NRG® y E-COVX® en Chiba (diferencias medias de $0,2 \pm 1,2$; $p=0,31$). • Mediciones de Q-NRG® fiables, similares a las de Deltratac® y E-COVX®.
Taboni (Taboni et al., 2023).	• No se encontró correlación entre mREE y pREE, salvo entre el mREE a una FI_{O_2} de 60% y pREE-HBSf ajustado por peso corporal que fue significativa. • El pREE-HBSf ajustado por peso corporal sobreestima sistemáticamente el REE en comparación al mREE. • No hubo diferencias significativas entre las mediciones de REE con Q-NRG+ al comparar las realizadas a una FI_{O_2} al 40% y al 60%. • No hubo diferencias significativas entre las mediciones de VO_2, de VCO_2 ni de RQ para una FI_{O_2} del 40% y del 60%.	• Estancia mediana en UCI: 9 días (IQR: 5-18 días). • Duración mediana de la VM: 6 días (IQR: 4-12 días).
Niederer (Niederer et al., 2021).	• Promedio de mREE de $23,2 \pm 1,0$ kcal/kg/d. • Semana 1: normometabólico, con incremento progresivo a un hipermetabolismo significativo y prolongado. • Semana 1: mREE en obesos fue significativamente inferior en comparación al de pacientes no-obesos. No se encontraron diferencias en pREE entre obesos y no-obesos. • Semanas 2 y 3: incremento del mREE en los no-obesos. • MSJ, HB y el límite inferior de ASPEN-SCCN predicen a la baja el REE, mientras que PSU y el límite superior de ASPEN-SCCN lo predicen al alza.	• Duración media de la VM: $20,3 \pm 2,8$ días. • Estancia media en UCI: $25,2 \pm 2,8$ días. • Mortalidad: 32%.

Estudio	Resultados Q-NRG vs comparador	Otros resultados
Lakenman (Lakenman et al., 2024).	- Diferencia media entre las mediciones válidas de mREE y pREE fue de 44 kcal (IC 95%: 11-100) y con unos límites de acuerdo muy amplios (-802 a 890). - Las EP pueden tanto infraestimar como sobreestimar las necesidades energéticas. - Correlación entre mREE y pREE sólo moderada (ICC: 0,527; p=0,001). - El mREE permitió un adecuado aporte energético en el 53% de pacientes en la primera medición y en el 77% en la segunda. - La mayoría de las mREE indicaron hipo o hipermetabolismo (hipometabolismo si el cociente mREE/pREE*100% es <90% e hipermetabolismo si es >110%).	- Tiempo de medición de la CI: 11 minutos. - El 85% de las mediciones con Q-NRG+ fueron válidas. - En el 90% de los casos se utilizaron para ajustar el tratamiento nutricional. - Estancia mediana en UCI: 23 días (IQR: 13-36 días).
Pelekhaty (Pelekhaty et al., 2025).	- No diferencias entre mREE con Q-NRG+ y pREE con 20 kcal/kg. Las demás EP sobreestimaron las necesidades energéticas. - En adolescentes, no hubo diferencias entre el pREE de la ecuación con 25 kcal/kg y Schofield y el mREE, mientras que la ecuación con 30 kcal/kg y la de PSU 2003b sobreestimaban de forma significativa las necesidades energéticas y la ecuación con 20 kcal/kg las infraestimaba. - Las necesidades predichas difieren de forma significativa de las medidas con CI. - Asociación débil pero estadísticamente significativa entre la energía prescrita y medida con CI (r=0,32, p<0,001).	- Estancia mediana en UCI: 18,5 (IQR: 11,3;26,9) días. - Mortalidad: 16%.
Chung-Sang (Chung et al., 2024).	- Frente a CI, la ecuación HB infraestima en un 71% el REE mientras que la RP lo sobreestima en un 79%. - Correlación moderada entre REE-CI y REE-HB (coeficiente de correlación de Pearson: 0,588 y coeficiente de determinación r²: 0,346). - Correlación moderada a pobre entre REE-CI y REE-RP (coeficiente de Pearson: 0,433 y coeficiente de determinación r²: 0,188).	- La CI y las EP se aplican a las 48 h del ingreso y ambas de forma simultánea. - Tiempo de duración de la medición con CI: 15-20 minutos.

ASPEN-SCCM: *American Society for Parenteral and Enteral Nutrition-Society for Critical Care Medicine*. CI: calorimetría indirecta. FiO₂: fracción inspirada de oxígeno al 40% y 60%. HB: ecuación de Harris-Benedict. IC 95%: intervalo de confianza al 95%. ICC: coeficiente de correlación intraclase. IMC: índice de masa corporal. IQR: rango intercuartílico. MSJ: ecuación de Mifflin-St. Jeor. mREE: gasto energético en reposo medido con CI. pREE: gasto energético en reposo estimado con las ecuaciones predictivas. PSU: *Penn State University Equations*. REE: gasto energético en reposo. RP: regla del pulgar. SD: desviación estándar. UCI: unidad de cuidados intensivos. VM: ventilación mecánica. VO₂: producción de O₂. VCO₂: producción de CO₂.

A continuación, se detallan las características y resultados de los estudios incluidos.

Pacientes críticos en UCI sin especificar patología

Oshima y cols. (Oshima et al., 2020) realizaron en 2020 un estudio observacional, prospectivo, multicéntrico y sin enmascaramiento, a partir del proyecto multinacional ICALIC (Oshima et al., 2017) de desarrollo y validación del dispositivo Q-NRG. El estudio de Oshima y cols. del 2020 incluyó pacientes adultos en UCI que requerían VM invasiva, estudiados entre septiembre de 2017 y julio de 2019, en 9 centros con gran experiencia en CI localizados en 6 países (Japón, Suiza, Suecia, Israel, Austria, y Bélgica). Se excluyeron pacientes en condiciones de ventilación extremas (p. ej., $FiO_2 > 70\%$, $PEEP > 10$ cm H_2O , presión de ventilación al pico > 30 cm H_2O), fugas de aire del tubo de drenaje torácico, hemodinámica inestable, agitación no controlada, temperatura corporal inestable y condiciones premórbidas.

Finalmente se estudiaron 277 pacientes de 6 centros (y 5 países) que completaron el número planificado de mediciones válidas. De ellos, tres centros participaron con 49 pacientes, dos centros con 48 pacientes y uno con 34 pacientes. Las características de la población y los aspectos demográficos, condiciones en UCI y tratamientos recibidos fueron muy variables entre centros. Así, la media de edad de los pacientes osciló entre 58 años (SD=17) a 67 años (SD=13); la proporción de hombres varió entre 16% en el centro de Chiba y el 36% en el centro vienés; y el porcentaje de pacientes con sepsis fue, igualmente, muy variado (26% en el centro de Ginebra, 2% en el centro de Viena).

Además de Q-NRG, utilizaron los siguientes calorímetros indirectos, de uso frecuente en la práctica habitual: Deltatrac® (Datex, Finlandia) en Ginebra, Estocolmo, Tel Aviv y Viena; Quark RMR® (Cosmed, Italia) en Lausana; Vmax® (Vyaire, California) en Bruselas, y E-COVX® (Datex-Ohmeda, Finlandia) en Chiba. A todos los investigadores de cada centro se les dio un curso de capacitación de un día de duración por parte del fabricante sobre el uso de Q-NRG®. Las mediciones del EE en Q-NRG y en los demás calorímetros se realizaron de forma simultánea.

El objetivo principal del estudio era evaluar la facilidad de uso del Q-NRG analizando el tiempo requerido por este dispositivo para obtener una medición de EE clínicamente relevante. La duración estimada de la medición con otros calorímetros era de 20 ± 5 min. Se esperaba que con Q-NRG se pudiera reducir este tiempo en un 20% (unos 4 minutos). La duración hasta obtener una medición válida de CI se definió como el tiempo necesario para completar los procedimientos de preparación del dispositivo y de obtención de la primera lectura válida tras encen-

derlo (incluidos tiempos de calentamiento, introducción de datos del paciente, calibración del gas y flujo/volumen, y conexión al circuito del ventilador). Se permitieron modificaciones de los procedimientos básicos para adaptarse a las normas locales de gestión de riesgos, siempre que se ajustaran al manual del usuario del fabricante. Los motivos registrados sobre interrupciones en las mediciones temporales fueron atención al paciente, mal funcionamiento del CI y otros imprevistos. Los calorímetros indirectos realizan las mediciones en un tiempo mínimo de 20 minutos y un máximo de 30 minutos, durante los cuales el paciente debe mantener una condición de estado estable (definida como un CV del VO_2 y $\text{VCO}_2 \leq 5\%$ para la medición a 5 min o del 10% para la medición a 25 min).

El tiempo (minutos, media $\pm$ SD) necesario para obtener mediciones de EE clínicamente relevantes con Q-NRG fue de $7,5 \pm 1,8$ en el centro de Ginebra, $9,0 \pm 2,7$ en el de Lausana, $5,3 \pm 0,8$ en el de Bruselas, $10,9 \pm 7,2$ en el de Tel Aviv, $8,1 \pm 2,1$ en el de Viena y $5,1 \pm 0,7$ en el de Chiba. Las diferencias entre centros se debieron, principalmente, a las formas de actuación locales (p. ej., normas de seguridad médica, separación de funciones entre profesionales médicos, etc.). El tiempo de medición con Q-NRG fue significativamente inferior ($p < 0,001$) en comparación con Deltatrac (en los 3 centros), Quark RMR (en Lausana) y V-max (en Bruselas). Las diferencias de medias (minutos, media $\pm$ SD) entre el tiempo de la medición con Q-NRG y Deltratac fueron las siguientes: $-32,3 \pm 2,5$ en el centro de Ginebra, $-26,4 \pm 7,8$ en el de Tel Aviv y $-28,5 \pm 3,5$ en el de Viena; entre Q-NRG y Quark RMR fue $-32,3 \pm 3,1$ y entre Q-NRG y Vmax $-33,7 \pm 1,4$. No se observaron diferencias entre el tiempo de medición con Q-NRG y E-COVX en Chiba (diferencias medias de $0,2 \pm 1,2$; $p=0,31$). Además, los autores destacan el hecho de que E-COVX no requiere calibración durante el procedimiento de preparación.

Como objetivo secundario, se propuso comparar la fiabilidad de las mediciones del EE del Q-NRG con la de los otros calorímetros indirectos, en cada uno de los centros colaboradores. El estudio mostró mediciones de EE similares entre las realizadas con Q-NRG y con Deltatrac en Ginebra y Viena (diferencia de medias $\pm$ SD, kcal/día: $-63,1 \pm 157,8$ ($p=0,462$) y $-22,9 \pm 328,2$ ($p=0,650$), respectivamente). Tampoco hubo diferencias significativas entre las mediciones de Q-NRG y las de E-COVX en Chiba ($55,0 \pm 204,1$; $p=0,312$). Por el contrario, sí fueron significativamente diferentes las de Q-NRG frente al Deltratac en el centro de Tel Aviv ($307,4 \pm 324,5$; $p < 0,001$), entre las mediciones de Q-NRG y Quark RMR en Lausana ($-224,4 \pm 514,9$; $p=0,038$) y con V-max en Bruselas ($-449,6 \pm 667,4$; $p < 0,001$).

El gráfico de Bland-Altman mostró que la diferencia en los límites de concordancia fue mayor con el V-max en Bruselas ($\pm 1.308,1$), seguido del Quark RMR en Lausana ($\pm 512,9$), y varió entre los centros con el Deltatrac ($\pm 309,3 \sim \pm 643,3$).

Por todo ello, los autores concluyen que Q-NRG requiere un tiempo significativamente menor que la mayoría de los calorímetros indirectos para determinar el EE en pacientes de UCI con VM, además de confirmar la fiabilidad de las mediciones de Q-NRG en comparación al Deltatrac que era considerado el calorímetro de referencia. Además, este estudio permitió confirmar estos resultados en diferentes entornos clínicos, instituciones y países.

En la publicación de este estudio se informa sobre los conflictos de interés de cada autor y sobre la financiación del estudio ICALIC por la ESICM (Belgium), la ESPEN (Luxembourg) y la *Foundation Nutrition 2000plus* (Switzerland).

El estudio de **Taboni y cols.** (Taboni et al., 2023), publicado en 2023, se realizó en un único centro, en Brescia (Italia). Se trata de un estudio observacional con una población de 27 pacientes ingresados en la UCI (con un tiempo estimado de estancia en UCI de al menos 48 horas) en VM, de los que 20 eran hombres y 7 mujeres, con una edad media de 63,9 (SD=16,1) años y una FiO₂ entre 25-60%. El IMC medio era de 27,2 (SD=5,2). La mediana de duración de ventilación era de 6 días (rango intercuartílico, IQR: 4-12 días). La estancia mediana en UCI, de 9 días (IQR: 5-18). Se excluyeron aquellos pacientes con una PEEP >10 cm H₂O y los pacientes con agitación.

Uno de los objetivos de este estudio era comparar el REE medido con Q-NRG+ con el REE predicho por las ecuaciones HB sin y con factor de estrés (REE-HB y REE-HBs_f, respectivamente), aceptando el valor global de 1,3 propuesto por Zusman y cols. (Zusman et al., 2019), y con el REE-W de un protocolo nutricional desarrollado por el personal médico basado en las guías de ASPEN (McClave et al., 2016). Los resultados del REE (mediana [IQR]) se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de REE con CI y EP.

	mediana [IQR] kcal/día	mediana [IQR] kcal/día/kg
mREE a FiO ₂ =40%	1.612 [1.494-2.170]	21,1 [18,9-23,5]
mREE a FiO ₂ =60%	1.491 [1.322-1.776]	18,7 [16,2-22,3]
REE-W	1.464 [1.164-1.776]	19,7 [14,3-29,1]
REE-HB	1.594 [1.377-1.793]	19,2 [18,6-20,5]
REE-HBs _f	2.503,4 [2.156-2.797]	31,0 [29,3-33,7]

IQR: rango intercuartílico. mREE: gasto energético en reposo medido con CI. REE-W: gasto energético en reposo predicho con la ecuación basada en los pesos. REE-HB: gasto energético en reposo predicho con la ecuación de Harris-Benedict sin factor de estrés. REE-HBs_f: gasto energético en reposo predicho con la ecuación de Harris-Benedict con factor de estrés.

La correlación entre mREE y REE-ecuaciones se evaluó mediante el gráfico de Bland-Altman y test de Pitman. Este gráfico permite comparar las mREE con una FiO_2 de 40% y de 60% frente a REE-W y REE-HB. El test de Pitman analiza la diferencia de varianzas entre los métodos; se considera significativo si $p < 0,05$. Para cada análisis se da el sesgo y límites de acuerdo. El sesgo (*bias*) es la diferencia media entre el mREE y el REE predicho por las ecuaciones; la precisión es la SD del sesgo; y r es el coeficiente de correlación.

Se encontró que no existía correlación entre el REE medido y el estimado, excepto para dos comparaciones: mREE a una FiO_2 del 40% vs REE-W ($p=0,265$), y para mREE a una FiO_2 de 60% vs REE-HBsf ajustado por el peso corporal ($p=0,091$). En el primer caso, la prueba t para una sola muestra no fue significativa y el sesgo no se podía aplicar como factor de corrección, por lo que se concluye que los valores obtenidos por el REE-W no son comparables a los medidos con Q-NRG+. En el segundo, la prueba t de una muestra sí resultó significativa ($p < 0,01$).

Los valores estimados de REE-HBsf ajustado por el peso corporal fueron mayores que los estimados por otras ecuaciones y también superiores a los medidos con Q-NRG+ (más del 90% de los valores de REE-HBsf/kg fueron mayores que el mREE a una FiO_2 del 60%). Es decir, que REE-HBsf ajustado por el peso corporal sobreestima sistemáticamente el REE en comparación al mREE, tanto el medido a una FiO_2 del 40% como del 60%; de hecho, ninguno de los valores de REE-HBsf fue inferior al mREE.

Los límites de acuerdo y el análisis de correlación mostraron diferencias no significativas entre los parámetros medidos a una FiO_2 del 40% en comparación a los parámetros medidos a una FiO_2 del 60%. El sesgo fue de 190,4 kcal para mREE, de 2,19 kcal para el mREE normalizado por el peso corporal y de -0,06 para RQ (test de Pitman, $p > 0,05$).

Otro objetivo del estudio era analizar la concordancia de las mediciones de VO_2 y VCO_2 medidos a diferentes niveles de FiO_2 (40% y 60%). Para esto, se realizaron las mediciones de Q-NRG+ durante un mínimo de 15 min en cada porcentaje de FiO_2 (40% y 60%), administrados en orden aleatorio, con 10 min de descanso antes de realizar la medición. Durante el registro, el paciente debía encontrarse en condiciones hemodinámicas estables y no presentar agitación. Para el análisis se consideraron los valores medios a los 5 min. El mREE a una FiO_2 40 % se midió en 26 pacientes y el mREE a una FiO_2 60% se midió en 23 pacientes. No se encontraron diferencias significativas entre las mediciones realizadas por Q-NRG+ de VO_2 ni VCO_2 a los diferentes porcentajes de FiO_2 . La mediana [rango intercuartílico (IQR)] de VO_2 para una FiO_2 40% y 60% fue de 233,0 [95,2] ml/min y 217,5 [89,8] ml/min, respectivamente, ambos no signifi-

cativos. La mediana de VCO_2 para una FiO_2 al 40 % y 60 % fue de 199,0 [91,7] ml/min y de 197,5 [85,5] ml/min, respectivamente. El RQ fue 0,85 [0,23] y 0,89 [0,12] para FiO_2 40% y 60%, respectivamente, y tampoco fue significativo.

Ante las diferencias significativas encontradas en este estudio entre la estimación de REE utilizando fórmulas predictivas y el medido por el Q-NRG, los autores consideran que las EP no permiten el cálculo preciso de las demandas metabólicas en pacientes ventilados en UCI. El mayor acuerdo se encontró entre los valores de mREE a una FiO_2 del 40% y FiO_2 del 60% y los de REE-HB ajustado por peso corporal, mientras que la ecuación de HB corregida sobreestima el REE. Es posible que las diferencias entre mREE y REE-HBsf sean debidas a que el cálculo del REE mediante CI requiere que el paciente esté en VM con cierta sedación. La sedación disminuye la demanda metabólica cerebral y la VM reduce el trabajo respiratorio y el metabolismo de la musculatura torácica, modificando ambos el metabolismo basal lo que contribuye a un incremento en la diferencia entre mREE y REE-HBsf. Por esto, los autores consideran que la corrección por factores de estrés podría conducir a importantes errores en pacientes sedados en VM. No obstante, se reconoce que las EP permiten una evaluación rápida de REE y el cálculo de la cantidad de energía derivada de los diferentes sustratos.

Por el contrario, consideran que el Q-NRG+ es una herramienta fiable para estimar el EE y para evaluar las necesidades nutricionales del paciente, pues ha demostrado concordancia en las mediciones de VO_2 y VCO_2 a diferentes niveles de FiO_2 . Además, el mREE contribuye a evitar la infra y sobrealimentación en situaciones críticas agudas. Por otro lado, los autores mencionan que Q-NRGTM+ podría emplearse también para la evaluación del VO_2 , lo que abriría nuevas perspectivas en la evaluación y monitorización metabólica de pacientes en UCI.

En este artículo no se informa sobre potenciales conflictos de interés ni sobre si fue o no financiado y fuentes de financiación.

Pacientes críticos con covid-19 en UCI

El artículo del 2021 de **Niederer y cols.** (Niederer et al., 2021) se refiere al estudio LEEP-COVID (*Longitudinal Energy Expenditure and Metabolic Effects in Patients with COVID-19*) (Whittle et al., 2020) que había constatado que, en los pacientes covid-19 intubados, el mREE se reducía a 15-20 kcal/kg durante la primera semana, y que tras esta primera semana se producía un marcado incremento del metabolismo hasta la segunda y tercera semanas, a diferencia de lo descrito en pacientes con otras patologías. También se había observado que las EP sobreestimaban el EE de forma significativa durante la primera semana, pero que después lo infraestimaban.

Niederer y cols. realizan un estudio prospectivo, en un único centro médico de la universidad de Duke, entre el 1 de abril de 2020 y el 1 de febrero de 2021, considerando una cohorte longitudinal de pacientes adultos en estado crítico infectados por el virus SARS-CoV-2, que ya recibían o se esperaba que recibieran VM durante más de 48 horas. En el análisis final se incluyeron 38 pacientes, de los que la mayoría eran hombres (61%), de etnia negra (47%), no hispanos (71%) y obesos ($\text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$) (58%). La mediana de edad fue de 61 años (rango: 25-88) y el IMC medio fue de $31,8 \pm 1,4 \text{ kg/m}^2$. Los pacientes estuvieron entre $20,3 \pm 2,8$ días en VM. La estancia media en la UCI fue de $25,2 \pm 2,8$ días. Los tratamientos comunes de la covid-19 fueron: remdesivir (30 pacientes), insulina (29 pacientes) y esteroides (24 pacientes). La mortalidad fue del 32% ($n=12$ pacientes). Se excluyeron pacientes con una duración esperada de la estancia en la UCI o que habían sobrevivido menos de 24 horas o si eran portadores de algún dispositivo cardíaco implantable (marcapasos, desfibrilador, etc.). También se excluyeron de CI algunos pacientes, temporalmente, si se daban estas condiciones: $\text{FiO}_2 > 70\%$, inestabilidad hemodinámica, $\text{PEEP} > 16 \text{ mmHg}$, soporte con ECMO o según el criterio clínico de los facultativos de la UCI.

El objetivo de este estudio era evaluar el mREE a través de CI en pacientes críticos con covid-19 a lo largo de la estancia en la UCI y comparar mREE con el pREE de las cuatro ecuaciones más utilizadas (ecuaciones HB, MSJ, PSU 2003b para menores de 60 años y PSU 2010 para mayores de 60 años) y las de ASPEN-SCCM.

Los resultados de CI se recogieron a intervalos de 10 a 30 minutos si se cumplían las condiciones de estabilidad del paciente (definidas por una varianza de VO_2 y $\text{VCO}_2 < 10\%$, según los datos de validación publicados para el dispositivo Q-NRG por el fabricante). Sólo las mediciones que cumplían este requisito se consideraron válidas y fueron incluidas en el análisis. Pacientes con múltiples mediciones de CI se promediaron en intervalos semanales. Las mediciones de CI se recogieron sólo durante el período de VM y se excluyeron si durante algunos días el paciente cumplía los criterios de exclusión.

Los cálculos del pREE se realizaron de acuerdo con el sexo, edad e IMC del paciente, el mismo día de la medición de CI y se promediaron múltiples valores semanales de pREE. En el caso de los cálculos de la guía ASPEN-SCCM, se realizaron con los límites superior e inferior de los rangos de las ecuaciones basadas en el peso de ASPEN-SCCM para comparar con el mREE de CI. Se usó el extremo inferior del rango de estas ecuaciones dada una correlación más cercana con las condiciones a partir de las cuales se calcula pREE en ecuaciones HB y MSJ, mientras que el extremo superior del rango se utilizó para comparar con el mREE derivado de la CI, por la hipotética respuesta hipermetabólica preliminar en covid-19.

Resultados por semana de VM:

Se recogieron 97 mediciones de CI durante las semanas 1-7 de VM, con un resultado promedio de mREE de $23,2 \pm 1,0$ kcal/kg/d. En el total de pacientes, la media del mREE se incrementó 6,4 kcal/kg/d entre las semanas 1 y 3 de VM. En las semanas 4 a 7 de VM (estas semanas se combinaron para el análisis por presentar menor tamaño muestral), la medición media del mREE fue de $27,9 \pm 2,1$ kcal/kg/d.

En la semana 1 de la VM, las mediciones de CI mostraron un mREE relativamente normometabólico o mínimamente hipermetabólico de 21,3 kcal/kg/d o 110% del predicho por la ecuación de HB. Este dato evolucionó a un hipermetabolismo significativo y prolongado en las semanas sucesivas: con un incremento medio de 6,7 kcal/kg o 122,3% de la pREE-HB en la semana 2 y un incremento adicional de 4,9 kcal/kg o 142,1% de la pREE-HB en la semana 3 y 147,2% en las semanas 4-7 de VM.

Comparación grupos de obesos vs no-obesos:

En la semana 1 de VM, los valores de mREE en pacientes obesos con covid-19 fueron significativamente menores en comparación con los pacientes no-obesos ($19,5 \pm 1,0$ kcal/kg/d frente a $25,1 \pm 1,8$ kcal/kg/d, respectivamente; $p < 0,01$), mientras que no hubo diferencias significativas en los resultados de la HB entre obesos y no-obesos.

En las semanas 2 y 3 de la VM, el mREE de los pacientes obesos se mantuvo estable en $19,5 \pm 1,5$ kcal/kg, mientras que en los no-obesos aumentó hasta $28,0 \pm 2,0$ kcal/kg. Este aumento de las demandas metabólicas en los pacientes no-obesos con covid-19 se muestra a través de un aumento del 17% en el grado de hipermetabolismo (del 117% al 134% del valor predicho por la ecuación HB) en comparación con un aumento del 4% en el grupo obeso (del 111% al 115%).

Los resultados de los pREE de las ecuaciones HB, MSJ y el límite inferior del rango ASPEN-SCCM fueron significativamente inferiores al mREE. En cambio, la ecuación PSU no mostró diferencias significativas y de manera consistente durante todas las semanas de VM.

Cuando se comparan todas las ecuaciones por semana de VM, el límite inferior del rango de la ASPEN-SCCN en las semanas 1 y 2 es la que presenta la mayor exactitud en la predicción REE sin sobrealimentación, seguida de la ecuación PSU en la semana 3 de VM y el límite superior de la ASPEN-SCCN en las semanas 4-7. Sin tener en cuenta la posibilidad de sobrealimentación, PSU predice el REE con mayor exactitud en las semanas 1-2 de VM, seguida del límite superior de la ASPEN-SCCN en las semanas 3 y 4-7 de VM.

Cuando se comparan mREE con pREE en los grupos de pacientes, obesos y no-obesos, el resultado del pREE de las ecuaciones MSJ y HB fue consistentemente inferior (predicen a la baja) en ambos grupos, en todas las semanas de VM, mientras que fue superior (predice al alza) el valor promedio predicho por la PSU. ASPEN-SCCN predice a la baja y al alza de manera constante cuando se utiliza el límite inferior y límite superior del rango, respectivamente.

Los autores concluyeron que la CI fue esencial para evaluar las necesidades energéticas en pacientes covid-19 de manera precisa. Los datos de este estudio reafirman la necesidad de disponer de mediciones rutinarias y longitudinales de CI dado que esas necesidades cambian sustancialmente a lo largo del tiempo. Según los autores, en este estudio se reporta por primera vez el hipermetabolismo prolongado y progresivo de pacientes covid-19 que se incrementaría lentamente, pero de manera constante y progresiva, con un pico máximo en la semana 3 posterior a la intubación, y que persiste hasta las 7 semanas en UCI. Además, este patrón sería más evidente en pacientes no obesos que en obesos. Se trataría, por tanto, de un patrón diferente al descrito para otros pacientes críticos. Sin embargo, este patrón de progresivo incremento del REE no puede ser predicho por las EP, por lo que se aconseja no utilizar estas ecuaciones ya que su uso llevaría a una infraalimentación con los potenciales efectos negativos en los resultados clínicos en estos pacientes.

En ausencia de CI, la PSU (desarrollada específicamente para pacientes en VM) y el límite superior del rango de la ASPEN-SCCM serían las recomendadas pues aportan el valor REE más cercano al mREE en pacientes covid-19 en VM.

En la publicación se menciona que el estudio fue financiado, en parte, por una beca Baxter. También incluyen información sobre los conflictos de interés de los autores.

Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024) publican en 2024 un estudio observacional prospectivo y unicéntrico realizado en Rotterdam (Países Bajos) entre abril de 2020 y enero de 2022. Se incluye una población de pacientes adultos con covid-19 en VM, ingresados en la UCI. Se excluyeron los pacientes cuya enfermedad requería una dieta específica, así como los que hubieran iniciado una nutrición parenteral domiciliaria en los 7 días previos al ingreso por causas no relacionadas con covid-19.

El objetivo principal del estudio era describir la utilidad del calorímetro indirecto Q-NRG+ en este grupo de pacientes con covid-19 en UCI, definida tal utilidad como la frecuencia con la que se realizaron las mediciones sin impedimentos clínicos y logísticos. El objetivo secundario era analizar el grado de acuerdo entre las necesidades energéticas medidas por este calorímetro y las estimadas por las EP de la OMS y HB (si IMC >30 kg/m²).

Se recogieron las variables relacionadas con el mREE el día que se realiza la CI. Esas variables son las siguientes: temperatura corporal, índice de severidad de la enfermedad (*SOFA-score*), grado de profundidad de la sedación (*RASS-score*), proteína C-reactiva, interleukina-6, uso de opiáceos. También se recogieron variables relacionadas con el tratamiento nutricional (energético y proteico) y los parámetros de la VM, posición del paciente durante la VM, PEEP y FiO_2 .

La CI se realizó en 180 (42%) pacientes de 432 pacientes elegibles. Se llevaron a cabo 276 mediciones, de las cuales 235 (85%) fueron válidas, en 146 pacientes. Se consideraron mediciones válidas de CI aquellas con una variación global de VO_2 y VCO_2 , menor al 10% junto con un RQ no inferior a 0,67 ni superior a 1,1. Las mediciones válidas fueron 146 mediciones en la primera semana y 89 en la segunda semana después del ingreso en UCI. En un total de 87 pacientes se pudieron obtener las dos mediciones durante su estancia en la UCI.

En el 58% restante de pacientes se decidió no realizar la CI por diferentes motivos, logísticos (ausencia de personal para la medición, sin disponibilidad del dispositivo, sin stock de desechables o aislamiento por *Staphylococcus aureus resistente a la meticilina*) o clínicos ($\text{FiO}_2 > 70\%$, ausencia de VM, fugas de aire, inestabilidad hemodinámica o cambios en la medicación).

De los 146 pacientes, la mayoría fueron hombres (71%), con una mediana de edad de 62 años [IQR: 52; 70] y una puntuación mediana en APACHE-IV de 18 [IQR: 13; 31]. La estancia mediana en UCI fue de 23 días [IQR: 13; 36].

El 66% de las mediciones fueron realizadas por un intensivista y el 34% por un dietista en colaboración con personal de enfermería. El tiempo medio de las mediciones con CI fue de 11 minutos. No se notificaron problemas de contaminación. La primera medición se realizó a los 5 días (mediana; IQR: 3; 7) y la segunda a los 10 días (mediana; IQR: 8; 12). El 90% de las mediciones de CI se utilizó para ajustar el tratamiento nutricional.

La mediana [IQR] de mREE en la primera medición fue de 1.852 kcal/d [1.526;2.260] y de 1.890 kcal/d [1.533;2.350] en la segunda medición, mientras que estos mismos resultados para la pREE fueron 1.895 (± 311) y 1.914 (± 312), respectivamente. La diferencia media entre las mediciones válidas de mREE y pREE fue de 44 kcal (intervalo de confianza al 95% (IC 95%): 11-100) y con unos límites de acuerdo muy amplios (-802 a 890). Aunque la diferencia media entre el valor medido y el predicho por la EP es mínimo en la población global, las diferencias varían considerablemente a nivel individual llegando hasta el 50%. Estas diferencias se presentan tanto en sentido negativo

como positivo, lo que indica que las EP pueden tanto subestimar como sobreestimar las necesidades energéticas. Se debe destacar que cuando el mREE se incrementa, las diferencias con el pREE son mayores.

La correlación entre las necesidades energéticas medidas y predichas fue sólo moderada, con ICC entre mREE y pREE de 0,527 ($p=0,001$) significativo, pero no clínicamente relevante; de hecho, los autores hablan de “inconsistencia” entre unos resultados y otros.

En cuanto al tratamiento nutricional, se administraron pequeñas cantidades de nutrición enteral en las primeras 24-48 h del ingreso en UCI, con un incremento progresivo, de acuerdo con la guía de ESPEN. En caso de contraindicaciones y/o intolerancia a la nutrición enteral durante la primera semana, se consideró la nutrición parenteral. Los objetivos proteicos se determinaron de acuerdo a la guía ESPEN y en caso de un IMC $>27,5$ kg/m², se utilizó la fórmula de Gallagher siguiendo la guía dietética holandesa (Velzeboer et al., 2017).

Se recogieron los datos del aporte nutricional el día en que se realizó la CI, incluyendo también calorías no nutricionales (p.ej., propofol).

La mediana del aporte energético administrado aumentó del 82% de la mREE en la primera medición al 95% en la segunda medición. La media de aporte proteico administrado aumentó del 79% al 94%. Según el mREE, el 53% de los pacientes recibió un adecuado aporte energético ($>80\%$ de los requerimientos) en la primera medición y el 77% en la segunda medición. El aporte proteico fue del 49% y el 78%, respectivamente.

La mayoría de las mediciones de REE indicaron hipo o hipermetabolismo (57% en la primera semana y 56% en la segunda semana), considerando hipo-metabolismo si el cociente $mREE/pREE \times 100\%$ es $<90\%$ e hipermetabolismo si es $>110\%$.

Los autores señalaron que no fue posible realizar CI a más de la mitad de los pacientes covid-19 ingresados en UCI y con VM, aunque también destacaron que el 85% de las mediciones de CI fueron válidas y que en el 90% de los casos, se emplearon sus resultados para ajustar el tratamiento nutricional. Además, informaron de la facilidad de implementación de la técnica y su reducido tiempo de realización, aunque sí que requiere la resolución de cuestiones logísticas y organizativas para que su uso en la práctica clínica se incremente.

No se informa en la publicación sobre posibles conflictos de interés ni sobre si hubo financiación.

Pacientes críticos por traumatismo severo en UCI

El estudio de **Pelekhaty y cols.** (Pelekhaty et al., 2025) describe una cohorte prospectiva de pacientes críticos por traumatismo grave, con VM, ingresados en la UCI de un único centro hospitalario, y reclutada entre septiembre del 2023 y junio del 2024. Los objetivos del estudio eran describir el EE mediante CI y compararlo con el predicho por varias EP, y describir el cuidado de estos pacientes críticos por traumatismo según la edad.

Las indicaciones para realizar CI fueron tener una edad ≤ 19 años o ≥ 65 años, IMC $\leq 18,5$ o ≥ 30 , amputación de extremidades, traumatismo craneoencefálico, lesión medular aguda o politraumatismo severo (determinado mediante criterio clínico). La medición con CI se realizó al menos 30 minutos después de cambios en el soporte ventilatorio y al menos entre 30 y 60 minutos después de procedimientos de estimulación o dolorosos. La CI se pospuso en caso de $\text{FiO}_2 > 75\%$, PEEP > 16 mm H₂O, fuga de aire significativa en el respirador, extubación programada en las 24 h siguientes, transición a cuidados paliativos, lesión neurológica grave con evaluación programada de muerte cerebral e inestabilidad clínica.

Se realizó la CI con Q-NRG+ por personal entrenado y con el dispositivo calibrado mensualmente, según las indicaciones del fabricante. Se consideran mediciones válidas de CI cuando el CV era $\leq 10\%$ para VO_2 y para VCO_2 que se considera el estado estable, y cuando este estado se mantiene durante al menos 5 minutos. Las mediciones de CI se realizaron una vez entre los días 1 y 3 de estancia en UCI, otra vez entre los días 4 y 11 en UCI, y después, semanalmente.

Los pacientes fueron evaluados por personal especializado en nutrición y en manejo del paciente traumatizado en colaboración con el terapeuta respiratorio, en los 3 días siguientes al ingreso en UCI. Se administró nutrición enteral preferentemente, y dentro de las primeras 48 h del ingreso. Si la nutrición enteral estaba contraindicada, se utilizó la vía parenteral. El tratamiento nutricional, independientemente de la vía, se instauró lentamente y de manera progresiva hasta el objetivo según la tolerancia, considerándose óptima la administración del 50% al 65% del objetivo durante la primera semana de enfermedad crítica y al menos del 80% después.

Se utilizaron EP basadas en el peso (para 20, 25 y 30 kcal/kg), la ecuación de PSU 2003b, la ecuación de MSJ, para medir el EE basal y determinar el grado de hipermetabolismo (incremento de las necesidades energéticas por encima del metabolismo basal) y la ecuación de Schofield para población adolescente. Para estas EP se utilizó el peso habitual evaluado por el nutricionista dietista.

La cohorte está formada por 117 pacientes (94 hombres y 23 mujeres) con una edad mediana (IQR) de 43 años (28;62) y una puntuación mediana (IQR)

del *Injury severity score* de 26 (20;35), lo que indica que se trata de una cohorte con traumatismo grave. La estancia mediana en UCI fue de 18,5 días (IQR=11,3; 26,9). El análisis de los datos se estratificó por edad, con un grupo de mayores de 65 años y otro grupo de adolescentes (≤ 19 años), con una edad mediana de 72 años (IQR=67;77) y 17 años (IQR=17;17), respectivamente.

Se realizaron 163 mediciones de CI en los 117 pacientes. La mediana del día de realización de la CI fue el día 6 (IQR=4;13) de ingreso en UCI.

Los valores de la CI y las EP se muestran en la tabla 5. Los valores de la CI en kcal/kg fueron 22,4 (19;26,9) kcal/kg en la cohorte completa, 20,4 (17,9;22,5) kcal/kg en adultos mayores y 27,4 (24,4;29,7) kcal/kg en adolescentes.

Tabla 5. Resultados de la CI y las EP (mediana (IQR), en kcal/día).

	Cohorte completa	Adultos mayores	Adolescentes
CI	1.869 (1.618-2.265)	1.572 (1.472-2.265)	1.799 (1.541-2.255)
EP 20 kcal/kg	1.640 (1.420-2.132)	1.600 (1.400-1.880)	1300 (1.100-1.700)
EP 25 kcal/kg	2.050 (1.775-2.665)	2.000 (1.750-2.350)	1.625 (1.375-2.125)
EP 30 kcal/kg	2.460 (2.130-3198)	2.400 (2.100-2.820)	1.950 (1.650-2.550)
PSU 2003b	2.119 (1.893-2.381)	2.089 (1.731-2.341)	1.913 (1690-2.235)
Schofield			1.747 (1.647-2.141)

Se compararon el mREE y el pREE obtenidos el mismo día. En adultos mayores, los resultados de la ecuación con 20 kcal/kg no mostraron diferencias significativas con los de la CI ($p=0,58$), mientras que las demás ecuaciones sobreestimaban las necesidades energéticas en comparación a la CI. En adolescentes, las necesidades estimadas en las ecuaciones con 25 kcal/kg y Schofield no mostraron diferencias significativas con el resultado medido con CI ($p=0,15$ y $p=0,8$; respectivamente). Tanto la ecuación con 30 kcal/kg como la de PSU 2003b sobreestimaban de forma significativa las necesidades energéticas, especialmente la primera, mientras que la ecuación con 20 kcal/kg las infraestimaba, también de manera significativa.

Respecto a la concordancia de resultados entre la CI y las EP, en la cohorte completa, las necesidades energéticas predichas difieren de forma significativa de los resultados de la CI, tal como reflejaron los gráficos de Bland-Altman. El sesgo y límites de acuerdo entre las EP y la CI se recogen en la tabla 6.

Tabla 6. Estudio de concordancia entre la CI y las EP. Resultados del gráfico de Bland-Altman.

	Sesgo	Límites de acuerdo
EP 20 kcal/kg vs CI	-180 kcal	-1.134 a 774 kcal
EP 25 kcal/kg vs CI	260,2 kcal	-857,4 a 1.378 kcal
EP 30 kcal/kg vs CI	700,4 kcal	-607,1 a 2.007,8 kcal
PSU 2003b vs CI	520,6 kcal	-143,3 a 1.184,5 kcal

En la cohorte completa, la ecuación con 20 kcal/kg subestimó dichas necesidades energéticas ($p<0,001$), mientras que las demás ecuaciones las sobreestimaron de forma significativa ($p<0,001$) y mostraron unos límites de acuerdo muy anchos. La ecuación PSU 2003b presentó los límites de acuerdo más estrechos con un sesgo bajo, similar a la ecuación con 20 kcal/kg.

Con relación a la evolución de las necesidades energéticas a lo largo de la estancia en UCI, se determinaron con CI en cuatro periodos diferentes: los días 1-3, días 4-10, días 11 a 21 y a partir del día 22 (de acuerdo a los tiempos teóricos de las fases de la respuesta metabólica al estrés (Singer et al., 2019; van Zanten et al., 2019). Se encontraron diferencias significativas si la medición se realizaba en kcal por día entre los días 1-3 y con cada uno de los demás grupos de comparación, pero no cuando se medían en kcal por kg de peso. Por último, en la comparación con la nutrición prescrita se encontró una asociación débil pero estadísticamente significativa entre la energía prescrita y medida con CI ($r=0,32$, $p<0,001$).

Los autores señalan que estos pacientes no presentan un hipermetabolismo como se pensaba. Consideran que la CI continua es el método preferido para determinar las necesidades energéticas en estos pacientes y para medir la evolución de las mismas a lo largo de la estancia en UCI, permitiendo un ajuste en tiempo real de la prescripción nutricional. Si no se dispone de CI, aconsejan que el uso de las EP se realice con cautela para evitar una nutrición inadecuada, dado que las EP utilizadas en pacientes con traumatismos graves no reflejan con precisión el EE y han mostrado estar sesgadas hacia una sobrealimentación a excepción de la ecuación con 20 kcal/kg, que lo infraestima.

En este artículo no se informa sobre posibles conflictos de interés ni sobre si hubo financiación.

Pacientes oncológicos en UCI

En 2024, **Chung-Sang y cols.** (Chung et al., 2024) publican un estudio observacional, de corte transversal, y unicéntrico, con el objetivo de comparar el REE medido con CI frente al predicho por las EP, en pacientes críticos oncológicos ingresados en la UCI de SOLCA, Guayaquil (Ecuador), entre marzo y abril de 2023. Se incluyeron pacientes con y sin VM, que recibieron nutrición enteral o parenteral. No informa sobre criterios de exclusión de pacientes.

La CI se realizó con el Q-NRG+, siguiendo los protocolos del equipo para obtener resultados fiables. Así, los pacientes debían cumplir estos criterios: medición realizada a las 48 horas del ingreso, sin dosis altas de soporte vasopresor (norepinefrina $<0,25 \mu\text{g/kg/m}$, dobutamina $<10 \mu\text{g/kg/m}$ y vasopresina $<4 \text{ U/h}$) o requerimientos de oxígeno superiores a una $\text{FiO}_2 >50\%$.

En pacientes sometidos a VM, la medición de la VCO_2 se realizó mediante un sensor tipo neumotacógrafo previamente calibrado integrado en el equipo, que se coloca entre el sistema de circuito cerrado del paciente y el sistema corrugado del ventilador, acompañado de un filtro específico de vapor de agua. El equipo permite determinar la FiO_2 mediante una conexión directa con el ventilador mecánico. En los dos pacientes no ventilados, el sensor de VCO_2 se conecta a través del sistema canopy, configurando de manera manual otros parámetros necesarios como la FiO_2 . Ninguno de estos pacientes recibió suplementación de O_2 durante la medición. Se consideraron válidas las mediciones si la variabilidad para CO_2 y O_2 eran $<10\%$ durante toda la evaluación. El tiempo de evaluación osciló entre los 15-20 min.

Simultáneamente a la aplicación de la CI se realiza el cálculo con las fórmulas de HB (sin factor de corrección) o la RP tomando como objetivo 30 kcal/kg en los pacientes estabilizados.

Se incluyeron 19 adultos, 9 hombres y 10 mujeres, con una edad media de $53,68 \pm 15,79$ años, y un IMC de $26,34 (\pm 4,91)$. El riesgo nutricional medido por las calculadoras Nutric Score III y Nutricional Risk Score 2002 era de $3,63 \pm 0,90$ y de $3,05 \pm 0,85$, respectivamente. El 84% de los pacientes recibió nutrición enteral y el 16%, nutrición parenteral.

Consideraron mediciones equivalentes si el pREE vs el mREE era de $1 \pm 0,10$; mientras que consideraron que infraestimaba el resultado si era $<0,90$ y si era $>1,10$, que lo sobreestimaba.

La media de REE con CI fue de $1.661,58 \pm 392,79$ kcal, mientras que la estimada por fórmula de HB fue de $1.406,88 \pm 318,36$ kcal y por la RP fue de

2.028,47 $\pm$ 535,63 kcal. El porcentaje que se pudo considerar equivalente fue de 26% para las fórmulas HB y del 16% para RP. Frente a CI, la ecuación HB infraestima en un 71% el REE mientras que la RP lo sobreestima en un 79%.

La correlación entre REE-CI y REE-HB fue moderada, de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson de 0,588. El coeficiente de determinación r^2 fue de 0,346, lo que indicaba que el 34,6% de la variabilidad de la determinación del REE-CI era explicado por la variable REE-HB. La correlación entre REE-CI y REE-RP resultó moderada a pobre, con un coeficiente de Pearson de 0,433 y un coeficiente de determinación r^2 de 0,188, lo que indicaba que el 18,8% de la variabilidad de la variable REE-CI era explicado por la variable REE-RP.

Los autores recomiendan el uso de CI dadas las diferencias encontradas entre los resultados sobre las necesidades energéticas medidas con CI y los ofrecidos por las EP, reconociendo que la CI alcanza unas medidas precisas. Señalan que la enfermedad crítica requiere un tratamiento nutricional adecuado para prevenir los efectos adversos de la sobrealimentación e infraalimentación. Reconocen que la CI ha experimentado en los últimos años una mejora en los dispositivos, lo que ha permitido una aplicación más sencilla y rutinaria en pacientes con diversas patologías, siendo especialmente importante en la fase aguda de la enfermedad crítica, donde se da un hipermetabolismo progresivo significativo, además de insistir en la necesidad de realizar mediciones longitudinales repetidas de CI durante la estancia en la UCI para recoger los cambios fisiológicos y poder optimizar la atención al paciente.

En la publicación no se informa sobre posibles conflictos de interés ni sobre si recibió financiación.

4.4. Revisiones sistemáticas y meta-análisis

En la tabla 7 se presentan las principales características de las revisiones sistemáticas y meta-análisis. En ninguna de las revisiones sistemáticas seleccionadas se especifica qué modelo de calorímetros indirectos se han utilizado en los estudios primarios, ni se concretan aspectos relacionados con su aplicación ni los resultados se agrupan en función del tipo de calorímetro utilizado.

En 2020, **Tatucu-Babet y cols.** (Tatucu-Babet et al., 2020) publican una revisión sistemática realizada con el objetivo de estudiar si el uso de CI influía en la mortalidad y otras variables de resultados clínicos de pacientes críticos como el tiempo de estancia en UCI y la duración de la VM. Incluyeron 4 ECAs con un total de 396 pacientes. Ninguno de los dispositivos de CI empleados en estos

ensayos era Q-NRG. No se encontraron diferencias en la mortalidad hospitalaria entre el grupo de pacientes en los que se había utilizado la CI y el grupo en el que se emplearon EP (*odds ratio* (OR)=0,81; IC 95%: 0,25-2,67; $p=0,73$; $I^2=52\%$). Tampoco se encontraron diferencias en mortalidad en UCI ni estancia hospitalarias, ni en el tiempo de estancia en UCI (diferencia media de 1,39; IC 95%: -5,03-7,79; $p=0,67$; $I^2=81\%$). Sin embargo, el tiempo de duración de la VM fue significativamente mayor en el grupo de pacientes tratados a partir de los resultados de la CI (diferencia media de 2,01; IC 95%: 0,45-3,57; $p=0,01$; $I^2=26\%$).

Estos mismos autores habían realizado unos años antes otra revisión sistemática de la literatura (Tatucu-Babet et al., 2016) para analizar la prevalencia de la prescripción de los requerimientos energéticos al alza y a la baja en pacientes críticos en VM y comparar los resultados entre CI y EP. Seleccionaron 18 estudios. Los resultados de esta revisión confirmaron importantes discrepancias entre los valores estimados con las EP y los medidos con CI. De las 13 EP revisadas, el 38% infraestimaba el REE mientras que el 12% lo sobreestimaba en más de un 10%. El 50% restante de las EP estimaban el REE dentro del rango $\pm 10\%$ del mREE, y encontraron diferencias de hasta el 43% por debajo y 66% por encima de los valores medidos con CI.

Heyland y cols. (Heyland et al., 2021) realizan una revisión sistemática, en la que incluyen 9 ECAs publicados entre 1990 y 2020, con un total de 1.176 pacientes. Compararon varios resultados clínicos asociados al uso de CI en comparación a las EP. Los resultados del meta-análisis mostraron una tendencia a menor mortalidad global cuando la nutrición se guía mediante CI en comparación a las EP (riesgo relativo (RR)=0,84; IC 95%: 0,68-1,04; $p=0,11$; $I^2=3\%$). Sin embargo, no se observan diferencias en la mortalidad en UCI (RR=0,87; IC 95%: 0,69-1,11; $p=0,27$; $I^2=0\%$), mortalidad hospitalaria (RR=0,86; IC 95%: 0,59-1,27; $p=0,46$; $I^2=24\%$), estancia en UCI (diferencia de medias de -0,23; IC 95%: -3,84-3,37; $p=0,90$; $I^2=83\%$) ni estancia hospitalaria (diferencia de medias de 0,49; IC 95%: -1,76-2,74; $p=0,67$; $I^2=0\%$) entre los pacientes estudiados con CI o con EP. Tampoco, en los días de duración de la VM entre ambos grupos de pacientes (diferencia de medias de 0,31; IC 95%: -1,43-2,06; $p=0,72$; $I^2=58\%$). Además, considerando la información de tres de los estudios incluidos, se observa que el uso de CI tampoco influye significativamente en la tasa total de infecciones (RR=1,29; IC 95%: 0,71-2,36; $p=0,40$; $I^2=78\%$). En cuanto al aporte energético y proteico administrado, se observó una mayor cantidad suministrada al grupo de pacientes evaluados con CI. Por ello, los autores concluyen que el uso de CI en comparación a las EP podría relacionarse con una mejor adecuación del aporte nutricional y con una reducción de la mortalidad global, pero no tiene efecto sobre los otros resultados en salud del paciente: riesgo de infecciones, estancia hospitalaria o en UCI, y duración de la ventilación.

También en 2021, **Duan y cols.** (Duan et al., 2021) publican los resultados de una revisión sistemática y meta-análisis sobre los resultados clínicos de la administración de tratamiento nutricional basada en la CI en pacientes adultos críticos en comparación a los obtenidos a partir del uso de EP. Incluyeron estudios de PubMed, Embase y Cochrane Library publicados hasta octubre de 2020. Seleccionaron 8 ECAs (991 pacientes), cuatro de los cuales eran los mismos estudios incluidos en la revisión sistemática realizada por Tatubu-Babet en 2020 (Tatucu-Babet et al., 2020), mencionada anteriormente. Se observó que el uso de CI para medir el REE en estos pacientes permitía reducir de forma significativa la mortalidad a corto plazo en comparación al grupo control (RR=0,77; IC 95%: 0,60-0,98; $I^2=3\%$, $p=0,03$) mientras que no influía de forma significativa en el tiempo de duración de la VM (diferencia media de 0,61 días; IC 95%: -1,08 a 2,29; $p=0,48$), ni en el tiempo de estancia en UCI (diferencia media de 0,32 días; IC 95%: -2,51-3,16; $p=0,82$), ni de estancia hospitalaria ni mortalidad a largo plazo. En cuanto a seguridad, ambas estrategias, con CI y con EP, presentaron eventos adversos similares.

Por otro lado, en cinco de los ocho estudios seleccionados se observa que en el grupo de la CI se administra una cantidad significativamente mayor de aporte calórico por día en comparación al grupo de las EP (diferencia media de 622 kcal/día; IC 95%: 407-837; $p<0,00$; $I^2=85\%$). Los pacientes del grupo de CI recibieron un 89-106% del objetivo energético mientras que los pacientes del grupo de EP, sólo un 56-79%. Con la administración de proteínas los resultados seguían un patrón similar: en el grupo de CI la cantidad suministrada fue mayor (diferencia media de 20 g/día; IC 95%: 16-25; $p<0,00$; $I^2=4\%$).

Pertzov y cols. (Pertzov et al., 2022) evalúan el beneficio de una nutrición isocalórica guiada por CI en comparación a una nutrición hipocalórica, en pacientes críticos en UCI. Para ello, revisaron la literatura publicada hasta enero de 2021 y seleccionaron 4 ECAs, con un total de 1052 pacientes. El meta-análisis demostró una reducción significativa en la mortalidad a los 28 días (RR=0,79; IC 95%: 0,63-0,99; $p=0,04$) en los pacientes tratados con dieta isocalórica. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la mortalidad en UCI (RR=0,92; IC 95%: 0,68-1,23; $p=0,56$) ni a los 90 días (RR=0,88; IC 95%: 0,72-1,07; $p=0,20$), ni en la tasa de infecciones (RR=1,15; IC 95%: 0,77-1,72; $p=0,51$).

La revisión sistemática de **Watanabe y cols.** (Watanabe et al., 2024), publicada en 2024, analiza la literatura recogida en PubMed, *Cochrane Central Register of Controlled Trials* y en Igaku-Chuo-Zasshi hasta marzo de 2023 con el objetivo de estudiar si el uso de CI para estimar los requerimientos energéticos de pacientes críticos contribuye de manera significativa a mejorar la supervi-

vencia en comparación a otros métodos. Finalmente, seleccionan 9 ECAs, con 1.178 pacientes. El meta-análisis de los datos de estos ensayos muestra que la mortalidad a corto plazo presenta una tendencia a la mejora cuando los requerimientos energéticos se miden mediante CI (RR=0,86; IC 95%: 0,70-1,06), y no se observaron diferencias significativas en la estancia en UCI (diferencia media de 0,86; IC 95%: -0,98-2,70) ni en la duración de la VM (diferencia media de 0,66; IC 95%: -0,39-1,72).

Tabla 7. Características y resultados de comparación de CI y EP en las revisiones sistemáticas.

Revisión sistemática y meta-análisis	Nº estudios incluidos Nº pacientes	Resultados estadísticamente significativos	Resultados no significativos
Watanabe y cols. (Watanabe et al., 2024)	9 ECAs 1.178	Tendencia a menor mortalidad a corto plazo.	- Tiempo de estancia en UCI. - Días en VM.
Pertzov y cols. (Pertzov et al., 2022).	4 ECAs 1.052	Reducción de la mortalidad a 28 días con CI.	- Mortalidad en UCI. - Mortalidad a 90 días. - Infecciones nosocomiales.
Duan y cols. (Duan et al., 2021).	8 ECAs 991	- Mayor aporte energético suministrado por día con CI. - Mayor aporte de proteínas en grupo de CI. - Reducción de la mortalidad a los 28 días con CI.	- Días en VM. - Mortalidad a largo plazo. - Tiempo de estancia en UCI. - Tiempo de estancia hospitalaria. - Similares eventos adversos entre grupo de CI y de EP.
Heyland y cols. (Heyland et al., 2021).	9 ECAs 1.176	- Tendencia a menor mortalidad global en grupo CI. - Mayor aporte energético y de proteínas con CI.	- Días en VM. - Mortalidad en UCI. - Mortalidad hospitalaria. - Tiempo de estancia en UCI. - Tiempo de estancia hospitalaria. - Infecciones nosocomiales.
Tacutu-Babet y cols. (Tatucu-Babet et al., 2020).	4 ECAs 396	- Mayor duración de tiempo en VM con CI.	- Mortalidad en UCI. - Mortalidad hospitalaria. - Tiempo de estancia hospitalaria. - Tiempo de estancia en UCI.

CI: calorimetría indirecta. UCI: unidad de cuidados intensivos. VM: ventilación mecánica.

4.5. GPC: Información relativa al uso de la CI en UCI

Varias sociedades científicas han desarrollado GPC con el fin de establecer recomendaciones sobre el tratamiento nutricional o nutrometabólico en pacientes críticos para ayudar a una adecuada toma de decisiones en la práctica clínica diaria. Se acepta que el abordaje nutricional debe ser un proceso dinámico que varíe para adaptarse a los requerimientos y necesidades de cada paciente.

En general, existe un gran consenso en cuanto a considerar la CI como el estándar oro para estimar las necesidades energéticas en adultos en estado crítico tal como aconsejan las guías de las sociedades científicas ESPEN y ASPEN (Singer 2023, McClave 2016). Se recomienda utilizar esta tecnología después de la fase aguda, a partir del cuarto o quinto día de estancia en UCI. Ambas guías recomiendan utilizar las EP basadas en el peso para estimar las necesidades energéticas si no se dispone de CI. Se consideran las EP que utilizan los 20, 25 y 30 kcal/kg como método predictivo de comparación con CI.

Las recomendaciones establecidas por ASPEN y ESPEN sobre la CI se basan en los resultados del estudio TICACOS (*Tigh calorie control study*) (Singer et al., 2011). TITACOS es un ECA, controlado, no ciego, realizado en pacientes críticos con VM en un único hospital en Israel, cuyo objetivo era determinar si el tratamiento nutricional guiado por mediciones repetidas de los requerimientos energéticos en reposo mediante CI mejoraba los resultados clínicos en comparación a una EP. El grupo de CI incluyó a 56 pacientes y el grupo control, otros 56 en quienes se utilizó la EP con 25 kcal/kg/día. En el grupo de CI el aporte calórico y proteico fue mayor, y el análisis por intención de tratar mostró una tendencia a una menor mortalidad hospitalaria, aunque sin llegar a ser significativa (32,3% frente a 47,7%; $p=0,058$), mientras que, si el análisis era por protocolo recibido, la mortalidad hospitalaria sí era significativamente menor (28,5% frente a 48,2; $p=0,023$). Otros resultados de este estudio fueron los siguientes: en el grupo CI mayor número de días en VM ($16,1 \pm 14,7$ días versus $10,5 \pm 8,3$ días; $p=0,03$), mayor estancia en la UCI ($17,2 \pm 14,6$ días versus $11,7 \pm 8,4$ días; $p=0,04$) y una mayor tendencia a casos de neumonía asociada al ventilador (27,7% versus 13,8 %; $p=0,08$).

El estudio TITACOS internacional (Singer et al., 2021) también es un ensayo aleatorio, controlado y no ciego, pero multicéntrico, en el que participaron 7 centros hospitalarios. Su objetivo era estudiar el valor añadido de medir diariamente el REE mediante CI como guía para el tratamiento nutricional, y sus resultados se compararon con los obtenidos mediante la EP (20-25 kcal/kg peso corporal ideal (IBW, *ideal body weight*). La principal medida de resultado era la tasa de infección; los resultados secundarios eran la morbilidad y morta-

lidad durante la estancia en UCI, a los 90 y 180 días. Los autores concluyeron que el control calórico estricto guiado por CI contribuía a disminuir la tasa de infección y la mortalidad, pero no de forma significativa (quizás por el pequeño tamaño muestral, de 417 pacientes).

La guía de la ASPEN, de 2022 (Compher et al., 2022), actualiza las recomendaciones de la guía de la ASPEN/SCCM (McClave et al., 2016), centrándose en cinco preguntas claves del tratamiento nutricional en pacientes críticos. Utilizan la metodología GRADE para desarrollar y resumir la evidencia con la que generar recomendaciones para la práctica clínica. En la guía anterior de 2016, se sugiere utilizar la CI y si no se dispone de ella, usar la RP o las fórmulas basadas en el peso (25-30 kcal/kg/día). Sin embargo, en la actualización de esta guía no se observa una diferencia significativa en resultados entre una ingesta energética mayor y menor durante los primeros 7-10 días en la UCI, por lo que se cuestiona la necesidad de una medición precisa de los requerimientos energéticos durante la fase aguda temprana de la enfermedad crítica.

La guía de la ESPEN sobre nutrición clínica en pacientes en UCI publicada en 2023 (Singer et al., 2023) actualiza una previa del 2019 (Singer et al., 2019). En esta guía se sigue la metodología SIGN (*Scottish Intercollegiate Guidelines Network*). La literatura seleccionada es clasificada de acuerdo a los grados 1-4 de la evidencia y las recomendaciones se clasifican en cuatro clases (A/B/O/GPP (*good practice point*)). Los autores reconocen que dada la gran heterogeneidad existente en la población en UCI, la validez externa de las 56 recomendaciones de esta guía puede verse potencialmente reducida y que dichas recomendaciones deben aplicarse en cada paciente de manera individualizada. Además, se recomienda, basándose en un amplio y fuerte consenso, que para determinar el EE en el paciente en estado crítico con VM se debe usar la CI. Otra recomendación de la guía es limitar el aporte energético a no más del 70% del EE medido durante los tres primeros días, y después aumentarlo al 80-100% de las necesidades medidas. En casos de no disponer de CI, se recomienda calcular el EE a partir del VO_2 (obtenido a través del catéter de arteria pulmonar) o usar el consumo de VCO_2 (obtenido del ventilador mecánico, aplicando la fórmula $REE=8,2 \times VCO_2$ (Kagan et al., 2018)) para tener una mejor estimación del EE y dejar como última opción el uso de EP. En caso de utilizar la EP, la recomendación es limitar la dosis al 70% de las necesidades estimadas durante la primera semana. Con esta estrategia se pretende evitar la sobrealimentación durante la fase aguda de la enfermedad. Y en el caso de pacientes obesos, también la recomendación es utilizar la CI para guiar el aporte energético y si no está disponible, basarlo en el peso corporal ajustado.

La *Japanese Critical Care Nutrition Guideline* de 2024 (Nakamura et al., 2025) actualiza una guía previa de 2016 realizada por la *Japanese Society of Intensive Care Medicine*. Su objetivo es ayudar a los profesionales de la salud a dar el mejor tratamiento nutricional a adultos y población pediátrica ingresados en UCI, independientemente de la patología de base, con el fin de mejorar los resultados en salud del paciente como la mortalidad, duración de la estancia en UCI, tiempo de VM, eventos adversos y la recuperación de la función física. En esta actualización se da respuesta a 37 preguntas clínicas y se emiten 24 recomendaciones. Se desarrolla siguiendo la metodología GRADE y se alcanza un consenso para las recomendaciones GRADE, las afirmaciones de buena práctica (GPS, *good practice statements*), futuras preguntas de investigación y respuestas a preguntas de contexto mediante un método Delphi modificado. El uso de la CI en adultos alcanza un grado de recomendación débil.

En 2025, la *Société de Réanimation de Langue Française* (SRLF), la *Société Francophone de Nutrition Clinique et Métabolisme* (SFNCM) et le *Groupe Francophone de Réanimation et Urgences Pédiatriques* (GFRUP) publicaron una GPC basada en el consenso de expertos sobre tratamiento nutricional en UCI (J. Reignier et al., 2025). Para su elaboración utilizaron la metodología GRADE. Destacaron la importancia de individualizar las estrategias de soporte nutricional en cada paciente. En relación a las EP, dada la falta de datos sobre los resultados en salud de los pacientes, los expertos reconocen que no es posible recomendar el uso de una EP concreta en lugar de la fórmula estándar basada en el peso (kcal/kg/d, ajustada por IMC) para estimar las necesidades energéticas en adultos en estado crítico. En relación a la CI, consideran que, aunque es una herramienta fiable para valorar el EE, probablemente no debería utilizarse de manera rutinaria en la práctica clínica con el objetivo de mejorar los resultados en los pacientes críticos.

El grupo de trabajo Metabolismo y Nutrición, de la SEMICYUC (Vaquerizo Alonso et al., 2020) actualizó en 2020 las recomendaciones del tratamiento nutrometabólico en el paciente crítico del año 2011. Se revisó la literatura entre marzo de 2016 y febrero de 2019 y se empleó la metodología GRADE. Las recomendaciones se graduaron de acuerdo con el impacto clínico de la recomendación, independientemente del nivel de evidencia de la escala GRADE.

En la tabla 8 se presentan las recomendaciones de las principales GPC respecto al uso de la CI y de EP o fórmulas simples.

Tabla 8. Recomendaciones de las GPC sobre el uso de la CI.

SRLF, SFNCM y GFRUP (J. Reignier et al., 2025)
• En adultos críticos, no es posible recomendar una EP concreta por la ausencia de datos concluyentes. • La CI es fiable para determinar el REE, pero no se recomienda su uso generalizado.
Japanese Critical Care Nutrition Guideline (Nakamura et al., 2025)
• En pacientes críticos, se sugiere utilizar la CI para estimar el EE (GRADE 2B: la fuerza de la recomendación es débil y la certeza de evidencia es moderada). • La CI es superior a las EP, salvo en las situaciones clínicas donde no se recomienda utilizar CI (fugas de aire, ECMO, FIO₂ elevada, etc.). • Se reconoce la ausencia de estudios en comparación a las EP. También se destaca la necesidad de realizar estudios de coste-efectividad de la CI y estudios para determinar su efectividad en grupos concretos de población.
ESPEN (Singer et al., 2023)
• En pacientes críticos con VM, el EE debe determinarse mediante el uso de CI (grado B de recomendación, fuerte consenso, 95%). • Si se usa CI, se puede implementar progresivamente la nutrición isocalórica en lugar de la nutrición hipocalórica después de la fase temprana de la enfermedad aguda (grado 0, fuerte consenso, 95%). • Si la CI no está disponible, el uso del VO₂ de catéter arterial pulmonar o del VCO₂ derivado del ventilador (EE=VCO₂ x 8,19) darán una mejor estimación del EE que las EP (consenso 82%). • Si se utiliza una EP, sería preferible la nutrición hipocalórica (por debajo del 70% de las necesidades estimadas) a la nutrición isocalórica (≥70% de las necesidades estimadas) durante la primera semana (fase aguda de la enfermedad) de estancia en la UCI (grado B, fuerte consenso, 95%). • La nutrición hipocalórica debe administrarse en la fase temprana de la enfermedad aguda (grado B, fuerte consenso, 100%). • Después del día 3, la energía administrada se puede aumentar hasta el 80-100% de la EE medida (grado 0, fuerte consenso, 95%). • En pacientes obesos se puede administrar una dieta isocalórica rica en proteínas, preferentemente guiada por las mediciones de la CI y las pérdidas de nitrógeno urinario (grado 0, consenso, 89%). • En pacientes obesos, la energía administrada debe basarse en las mediciones de la CI (grado GPP, consenso, 89%).
ASPEN (Compher et al., 2022)
• Se recomienda una alimentación entre 12 y 25 kcal/kg en los primeros 7-10 días de estancia en la UCI (nivel de evidencia moderado, débil consenso). • No se observan diferencias en los resultados clínicos entre las numerosas intervenciones nutricionales encontradas en la literatura (publicada entre enero de 2001 y julio de 2020), por lo que se cuestiona la necesidad de una medición precisa de los requerimientos energéticos durante la fase aguda temprana de la enfermedad crítica y se recomienda que, mientras no se disponga de nuevas evidencias, se realice una monitorización clínica estrecha del paciente y se ajuste el tratamiento nutricional según el mejor criterio clínico.
SEMICYUC (Vaquerizo Alonso et al., 2020)
• Cuando está disponible, la CI es el método de elección para estimar los requerimientos calóricos en pacientes en estado crítico en VM (Nivel de evidencia: moderado. Grado de recomendación: alto). • En ausencia de CI, se sugiere el uso de EP, especialmente la de PSU en pacientes en VM o las fórmulas simples basadas en el peso (Nivel de evidencia: opinión de expertos. Grado de recomendación: moderado). • Durante los primeros días de la enfermedad crítica (fase aguda, entre los días 1 a 4), se recomienda aportar alrededor del 70% del EE medido mediante CI o entre 20-25 kcal/kg peso habitual/día. Una vez superado dicho período (paciente en fase estable, a partir del día 5), se sugiere aportar entre 25-30 kcal/peso habitual/día (Nivel de evidencia: opinión de expertos. Grado de recomendación: moderado). • En el paciente obeso crítico, se recomienda que la nutrición sea hipocalórica, en torno al 50-70% de los requerimientos energéticos estimados, e hiperproteica, entre 2 y 2,5 g proteínas/kg de peso ideal/día, ajustando el aporte para obtener un balance nitrogenado equilibrado (Nivel de evidencia: opinión de expertos. Grado de recomendación: moderado). • Se establecen recomendaciones para varios grupos según patología concreta (enfermedad renal, neurocrítico, enfermedad pulmonar, críticos con cirugía del aparato digestivo, politraumatizado, quemados...).

ASPEN/SCCM (McClave et al., 2016)

- Si la CI está disponible, se sugiere utilizarla para determinar las necesidades energéticas (calidad de la evidencia muy baja).
- En ausencia de CI, se sugiere utilizar EP o fórmulas simples basadas en el peso (25-30 kcal/kg/día).
- En pacientes obesos, el objetivo de la nutrición enteral no debería superar el 65-70% de las necesidades energéticas medidas con CI. Cuando la CI no está disponible, se recomienda utilizar la fórmula basada en el peso de 11-14 kcal/kg peso corporal real por día para pacientes con IMC de 30-50 y de 22-25 kcal/kg IBW por día para pacientes con IMC >50. En cuanto al aporte proteico, esta guía sugiere administrar 2,0 g/kg IBW por día a pacientes con IMC de 30-40 y 2,5 g/kg IBW por día para los pacientes con IMC ≥40.

EE: gasto energético. CI: calorimetría indirecta. EP: ecuación predictiva. IBW: *ideal body weight*. IMC: índice de masa corporal. UCI: unidad de cuidados intensivos.

4.6. Estudios sobre percepciones de pacientes

Las UCI constituyen un espacio altamente tecnológico orientado a ofrecer tratamiento y cuidados integrales a pacientes críticos. Las experiencias de pacientes en UCI se ven afectadas por enfermedades potencialmente mortales y procedimientos invasivos. Durante el ingreso en la UCI los pacientes suelen presentar importantes limitaciones para la expresión y comunicación, así como para participar en su cuidado debido a la gravedad de su estado clínico, la administración de sedación y la presencia de dispositivos de soporte respiratorio como los tubos endotraqueales o de traqueostomía. La mayoría de las veces los pacientes no son capaces de expresarse, a menudo debido a un coma (artificial o de otro tipo), lo que impide cualquier comunicación y/o consentimiento para el cuidado que pueda reflejar sus deseos, preferencias y opiniones respecto al inicio de terapias complejas de cuidados intensivos (Quenot et al., 2017).

Desde 1990 se ha informado en la literatura sobre experiencias de pacientes durante el ingreso en la UCI, pero no se han centrado de forma exhaustiva en cuestiones nutricionales. Las experiencias positivas informadas por los pacientes se refieren a la sensación de seguridad promovida principalmente por el personal de enfermería. Las experiencias negativas se relacionaron con el deterioro de las funciones cognitivas, el malestar debido a problemas de sueño, dolor y ansiedad, y la pérdida de peso (Persenius et al., 2009).

En la revisión realizada en este informe no se ha podido identificar un número amplio de estudios de experiencias de pacientes adultos (o familiares) respecto al tratamiento nutricional en la UCI, así como sobre determinados métodos, dispositivos, etc. para el cálculo del EE. Un conjunto de artículos aporta información sobre las experiencias de nutrición de los pacientes en el momento posterior al alta de la UCI que señalan las barreras para una recuperación en el área nutricional, producto de las limitaciones físicas y funcionales persistentes derivadas de la enfermedad crítica que padecen (Dudzic et al., 2025). Algunos

estudios han mostrado que la ingesta inadecuada de energía y proteínas después del alta de la UCI sigue siendo poco conocida. Los pacientes sufren una compleja gama de problemas físicos, emocionales, psicológicos y sociales. Un estudio cualitativo analiza los numerosos problemas nutricionales durante la fase post UCI y plantea dudas sobre la eficacia de la gestión nutricional actual a partir de los hallazgos en el escenario de un gran hospital universitario escocés (Merriweather et al., 2016). Muchos pacientes se enfrentaron a múltiples factores como la pérdida de apetito, la saciedad temprana, las alteraciones del gusto, la fatiga, la ansiedad, el bajo estado de ánimo y la falta de motivación que afectaron negativamente la ingesta oral después del ingreso en la UCI (Vinci et al., 2025). Se identificaron otras barreras adicionales, incluyendo náuseas, vómitos, disfagia, debilidad adquirida en UCI, depresión, trastorno de estrés postraumático, dismorfia, dolor, fatiga, entre otros muchos factores (Vinci et al., 2025).

La enfermedad crítica es claramente un evento vital significativo y una causa importante de sufrimiento y morbilidad física y psicológica a largo plazo en la persona afectada (Cutler et al., 2013). Para informar sobre la visión de los pacientes, aunque de una forma parcial por el número limitado de artículos identificados, se han considerado los resultados de una revisión narrativa (Hardy et al., 2025) y un estudio cualitativo (Persenius et al., 2009).

La revisión de Hardy (Hardy et al., 2025) proporciona una visión general de las experiencias de pacientes con tratamiento nutricional durante la estancia en UCI y la fase de recuperación. Durante la fase inicial, entre las 24-48 horas después del ingreso en la UCI, las percepciones de pacientes sobre las intervenciones nutricionales pueden ser limitadas debido a la sedación, lesión cerebral o delirio que sufre el paciente. A medida que el paciente se estabiliza, la percepción aumenta y su experiencia con el tratamiento nutricional adquiere mayor relevancia. Tras el cese de la VM invasiva y una vez descartada la presencia de disfagia mediante la valoración clínica correspondiente, se puede iniciar progresivamente la ingesta oral. Si no hubiera enfermedad cerebral en curso o sedación, los pacientes pueden participar en la toma de decisiones sobre el tratamiento nutricional comunicando sus preferencias individuales y dificultades nutricionales. Sin embargo, estos aspectos apenas se describen en la literatura (Hardy et al., 2025).

En esta revisión se repasan las experiencias de pacientes sobre los factores que influyen en la nutrición: el ayuno, no consumir alimentos ni líquidos por vía oral, el inicio de la dieta oral, los cambios en el peso, los síntomas que impactan en la nutrición, siendo la falta de apetito el más común. Otros síntomas reportados son saciedad temprana, cambios en el gusto, náuseas y vómitos, aversión a la comida del hospital, la dificultad para masticar y tragar, y alteración de la

conciencia, entre otros. Otros factores mencionados que afectan a la nutrición son los relacionados con el hospital: el ambiente del entorno de la UCI (luces, ruidos, etc.), el servicio de comida hospitalario; y factores clínicos: la formación de los profesionales sobre necesidades nutricionales de pacientes graves, y la comunicación entre profesionales del equipo en la UCI.

La revisión de Hardy pone de manifiesto que, a pesar del gran volumen de pacientes críticos a los que la alimentación es administrada por sonda nasogástrica, existe una laguna importante en la literatura sobre las experiencias de pacientes.

El estudio cualitativo de Persenius (Persenius et al., 2009) proporciona una comprensión de las experiencias nutricionales de 14 pacientes con nutrición enteral de una UCI en Suecia, mediante las técnicas cualitativas de entrevista y observación. Según los pacientes, fue fundamental comprender la nutrición enteral como una necesidad temporal en el proceso de recuperación para volver a la vida normal o superar el período de estancia en la UCI. Este resultado conecta con los siguientes aspectos: afrontar los cambios nutricionales (principalmente tener sed, cambio en el apetito, dificultades para comer y tragar, y molestias abdominales), darle sentido a la situación vital y estar involucrado en el cuidado nutricional. Los pacientes oscilaban emocionalmente entre la preocupación, el miedo y el fracaso, y el alivio y la esperanza. Los puntos de inflexión fueron recuperar el apetito, eliminar la sonda de alimentación y recuperar la función intestinal. Según el estudio, si los pacientes no participaban era porque no lo deseaban o estaban muy enfermos. Cuando se les dio oportunidad de elegir, se les invitó a participar en las decisiones (por ejemplo, cambio de nutrición parental a nutrición enteral) e involucrar a los familiares.

Una mayor investigación de las experiencias de los pacientes en estado crítico puede contribuir a comprender cómo los pacientes entienden los cambios nutricionales y cómo participan en su cuidado nutricional en el contexto de la atención compleja en la UCI. Se trata de un área que debe explorarse (Persenius et al., 2009).

5. Discusión

En este informe se ha analizado la efectividad del Q-NRG+ como dispositivo que mide el EE con el fin de contribuir a mejorar el tratamiento nutricional que precisa el paciente crítico durante su estancia en la UCI.

El primer paso para que en el contexto de la UCI se pueda prescribir de manera adecuada el tratamiento nutricional que requiere cada paciente es establecer unos objetivos o *targets* nutricionales realistas, pero estimar el aporte energético que estos pacientes necesitan resulta complicado debido a las alteraciones metabólicas que sufren, que además de complejas son cambiantes durante el periodo crítico en que se encuentran. Además, en estos pacientes críticos cada vez se le da más importancia al componente de actividad física del TEE, que, por el momento, no es posible medir. Existe consenso generalizado sobre la utilidad de la CI, a la que se considera el método de elección para determinar las necesidades energéticas en los pacientes críticos (Gonzalez-Granda et al., 2019; McClave et al., 2016; Singer et al., 2023). Frente a esto, de las más de 200 EP publicadas en la literatura científica, se ha descrito que presentan una precisión del 40-70% en comparación a la CI (Jean Reignier et al., 2025), y ninguna de las fórmulas simples utilizadas con esta misma finalidad ha sido más precisa que la CI.

En los estudios incluidos en este informe la CI ha demostrado su fiabilidad y estabilidad en los resultados, con concordancias en las mediciones y a diferentes valores de FiO₂, comparando entre porcentajes del 40% y 60% (Oshima et al., 2020; Taboni et al., 2023). También en estos estudios se ha encontrado una concordancia pobre a moderada entre los resultados de la CI y las EP. No obstante, existen diferencias entre los estudios. En algunos (Chung et al., 2024; Lakenman et al., 2024) es la ecuación HB la que infraestima las necesidades energéticas, mientras que en otros (Taboni et al., 2023), la HBsf sobreestima el REE. La RP también sobreestima, en casi un 80%, el REE. Aunque sólo uno de los estudios se centraba en pacientes críticos con traumatismos severos (Pelekhaty et al., 2025), parece que las EP de 30 kcal/kg y la ecuación de PSU sobreestiman las necesidades calóricas en adolescentes críticos, mientras que la fórmula con 20 kcal/kg infraestima dichas necesidades.

En pacientes covid-19 se ha constatado la utilidad de la CI para hacer seguimiento del EE y porque existe un bajo grado de acuerdo en los resultados entre la CI y las diferentes EP. Este hecho es aún más relevante en pacientes no obesos en los que la CI parece revelar un hipermetabolismo marcado y prolongado que no es posible valorar con las EP (Lakenman et al., 2024; Niederer et al., 2021). Tampoco se ha demostrado concordancia entre los resultados de Q-NRG+ y las

EP en pacientes oncológicos (Chung et al., 2024) ni en los pacientes críticos con traumatismo severo, en los que las EP sobre o infraestiman las necesidades energéticas, y en estos últimos, además, la CI no evidencia el hipermetabolismo que se suponía (Pelekhaty et al., 2025).

Por otro lado, en todos los estudios seleccionados, se aportan los resultados numéricos de las mediciones de la CI y/o de las EP, pero no se ha informado sobre cómo estos resultados se han interpretado para modificar el aporte energético o proteico en los pacientes. Es importante señalar que únicamente el estudio de Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024) menciona que los resultados de la CI se han utilizado en más del 90% de los pacientes para ajustar el tratamiento nutricional.

En la literatura publicada se encuentran estudios con resultados opuestos en cuanto a la concordancia de resultados entre determinadas EP y la CI (Londoño-Londoño et al., 2024; López-Villegas et al., 2023). Para muchos, la ecuación HB es la que muestra los resultados más concordantes con la CI, pero en general, la concordancia entre las EP y la CI en pacientes críticos en UCI muestra sesgos tanto positivos como negativos en las estimaciones del REE en comparación al medido con CI, indicando que estas EP no son precisas ni consistentes por lo que no se recomienda basar el tratamiento nutricional en sus resultados. Además, se ha observado que la precisión de las EP es especialmente baja en pacientes obesos y en los que tienen un peso por debajo del peso ideal y en pacientes críticos (de la Cruz Marcos et al., 2015; Louwaege et al., 2025; Weissman & Kemper, 1995). Sólo uno de los estudios incluidos en este informe (Niederer et al., 2021) compara el REE medido con Q-NRG y el predicho con las EP en pacientes obesos y no-obesos, encontrando que el mREE es significativamente menor en obesos frente a los no-obesos, mientras que el pREE es significativamente inferior al mREE en los no-obesos y que únicamente resulta similar el REE obtenido mediante la fórmula PSU y el Q-NRG.

La naturaleza multifactorial de las necesidades nutricionales en pacientes críticos y la diferencia en los resultados y las metodologías evaluadas en los estudios disponibles plantean desafíos para establecer pautas de ajuste (Hermans et al., 2023). El estado nutricional de determinados grupos concretos de pacientes críticos en la UCI sigue siendo un tema en debate, estudiado por diferentes autores. Parece existir consenso en que la CI es el método de elección para evaluar las necesidades energéticas de estos pacientes (McClave et al., 2016; Oshima et al., 2017; Singer et al., 2019; Taboni et al., 2023). Rattanachaiwong y cols. (Rattanachaiwong & Singer, 2019) observan que el REE promedio varía según la fase en que se encuentre la enfermedad. Estos cambios en el REE pueden revelar no sólo información metabólica con la que modificar el tratamiento nutricional sino también información clínica y pronóstica.

El tratamiento nutricional individualizado para pacientes covid-19 resulta imprescindible para su adecuada atención clínica (Wischmeyer et al., 2021). En estos pacientes se ha descrito una fase inicial normometabólica a la que seguiría otra fase de un hipermetabolismo marcado y más prolongado tras la intubación (Lakenman et al., 2021; Whittle et al., 2020). La CI se considera el método de referencia o estándar de oro para medir los requerimientos energéticos de los pacientes críticos, incluyendo también los covid-19, en los que las EP no estiman de forma precisa sus necesidades energéticas (Singer et al., 2020). En general se recomienda realizar la primera medición de CI a los 3-4 días tras el ingreso en UCI y después realizar mediciones repetidas debido a los cambios que se producen con la respuesta aguda al estrés (Moonen et al., 2021).

El uso de la CI ha evidenciado un hipermetabolismo prolongado y progresivo en pacientes covid-19, que alcanzaría un pico máximo en la tercera semana en UCI y que podría prolongarse hasta la séptima semana, lo que ha llevado a desaconsejar la utilización de EP por el riesgo de infraalimentación de estos pacientes. Estas mediciones longitudinales mediante CI permiten ajustar los objetivos energéticos y evaluar la duración de la respuesta hipermetabólica en esta población. La medición que ofrece la CI tiene como objetivo prevenir la sobrealimentación temprana, así como evitar la infraalimentación y los déficits calóricos potenciales que pueden acumularse después de la primera semana de ingreso en UCI. El hipermetabolismo en las fases aguda y post-aguda junto a una pérdida de nitrógeno en orina podría indicar que el paciente con covid-19 sigue en una fase catabólica prolongada (Lakenman et al., 2021).

A pesar de que la CI se considera fundamental para evaluar las necesidades energéticas de los pacientes con covid-19 y que esta evaluación debe realizarse de manera longitudinal en el tiempo para estudiar los cambios en el metabolismo, el aislamiento y el alto riesgo de contagio que suponían estos pacientes ha supuesto una limitación al uso de la CI y a la realización de mediciones reiteradas (Chapple et al., 2021; De Waele et al., 2021; Martindale et al., 2020). Niederer y cols. (Niederer et al., 2021) informan de un protocolo para utilizar la CI cada 3 días en estos pacientes con el fin de priorizar la seguridad de los profesionales sanitarios y disponer del suficiente tiempo para la esterilización del material empleado. Mejoras tecnológicas como accesorios desechables resultan muy aconsejables en estos pacientes para incrementar la seguridad de la tecnología (De Waele et al., 2021).

Para Lankeman y cols. (Lakenman et al., 2024) es importante el hecho de que el 85% de las mediciones de CI fueron válidas y que hasta el 90% de las mismas se utilizaron para ajustar el tratamiento nutricional de los pacientes covid-19 en UCI. Estos autores consideran que, aunque el uso de la CI es fácil y rápido, señalan que para poder incrementar su utilización en la práctica clínica es necesario resolver algunos problemas de índole logística y organizativa.

En pacientes críticos por traumatismos se ha descrito una situación de hipermetabolismo por lo que se recomienda administrar un aporte energético y proteico superior a la de otros grupos de pacientes (Haines et al., 2024; Kamel et al., 2022). Sin embargo, el trabajo de Pelekhaty y cols. (Pelekhaty et al., 2025) muestra que estos pacientes pueden no presentar dicho hipermetabolismo. También, que las EP no permitirían un cálculo correcto de las necesidades energéticas en estos pacientes.

El paciente crítico oncológico suele presentar una situación de estrés y catabolismo muy elevada. El incremento en el EE se asocia con la caquexia de estos pacientes. En pacientes con cáncer en estado avanzado, el REE suele estar incrementado mientras que el TEE puede verse reducido por la menor actividad física. La desnutrición es frecuente y se ha asociado a una menor supervivencia, por lo que resulta fundamental administrar una nutrición individualizada y adaptada a las diferentes etapas y estados metabólicos e inflamatorios por las que atraviese el paciente, con el objetivo de reducir la mortalidad (Bossi et al., 2021; Jouinot et al., 2018). También para estos pacientes oncológicos, la CI es el procedimiento estándar y el que recomiendan guías como las guías de ESPEN (Arends et al., 2017; Chung et al., 2024; Muscaritoli et al., 2021; Purcell et al., 2019). En casos de no disponer de CI, se recomienda administrar 25-30 kcal/kg/día con 1,2-1,5 g de proteínas/kg/día para mantener o recuperar la grasa magra corporal. El estudio de Chung Sang y cols. (Chung et al., 2024), incluido en este informe, coincide en la importancia de utilizar la CI para obtener unas mediciones precisas de las necesidades energéticas de los pacientes oncológicos dado que las obtenidas con EP llevan a errores de sobrealimentación e infraalimentación con el potencial impacto en la supervivencia de estos pacientes.

En pacientes con obesidad el REE se encuentra aumentado y para calcular el TEE es muy importante tener en cuenta el nivel de actividad física. Cada vez con mayor frecuencia se observan pacientes con obesidad ($\text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$) en el entorno de las UCIs. En general, el tratamiento nutricional adecuado en pacientes en UCI supone un reto, pero en pacientes obesos puede serlo aún más dado que las necesidades energéticas suelen medirse con EP basadas en pesos, que infraestiman las necesidades de estos pacientes, siendo recomendable utilizar la CI. En pacientes críticos con fallo renal, que reciben terapia CRRT, la estimación del REE basada en las ecuaciones predictivas que incluyen CO_2 podría llevar a una infraestimación del REE, por esto, las guías ESPEN también recomiendan utilizar la CI en pacientes con CRRT (Fiaccadori et al., 2021; Sabatino et al., 2024).

A pesar del alto grado de consenso existente sobre que la CI es la herramienta más precisa para determinar el EE y que está recomendada por diferentes sociedades científicas, el uso de la CI no se ha generalizado en la práctica clínica

(De Waele et al., 2013; Gonzalez-Granda et al., 2019) y no todas las UCIs disponen de estos dispositivos. Es probable que su disponibilidad haya aumentado en la última década, pero no se dispone de datos actualizados en nuestro entorno. Tatucu-Babet y cols. (Tatucu-Babet et al., 2025) han publicado recientemente un estudio sobre la disponibilidad y uso de la CI en Australia y Nueva Zelanda. De las 44 UCIs que han participado en el estudio, se ha informado que la CI está disponible sólo en 13 (30%) de ellas, 12 en Australia y 1 en Nueva Zelanda. De los 13 equipos de CI disponibles, 6 son Quark RMR (6/13 [46%]) y 5 son Q-NRG+ (5/13 [38%]). Además, en este estudio se reconoce la baja utilización de la CI: sólo un tercio de los centros la utiliza una vez a la semana, y entre las limitaciones para su uso se menciona la falta de aprendizaje o experiencia de los profesionales y la falta de financiación para los consumibles requeridos por estos dispositivos. Otros autores reconocen que, incluso en UCIs donde se dispone de calorímetros indirectos, no siempre se utilizan de rutina en la práctica clínica pues no existe suficiente evidencia ni sólida sobre los efectos reales del uso de CI en situaciones concretas como pacientes con ECMO o en CRRT (Kamel, 2024; McClave & Omer, 2021; Tatucu-Babet et al., 2023).

Algunos de los motivos informados en los estudios para esta escasa implantación de la CI han sido una cierta inexactitud en los resultados, los costes de los equipos y de su mantenimiento, además de la dificultad de uso y el tiempo requerido para obtener mediciones válidas. Otros motivos esgrimidos por algunos autores referentes a la baja implantación clínica de la CI son la ausencia de un método estándar para calcular el porcentaje de energía que debe suministrarse al paciente a partir de los resultados obtenidos mediante la CI y la incertidumbre sobre los resultados de la CI en determinadas situaciones o condiciones clínicas (por ejemplo, VM no invasiva) (De Waele & van Zanten, 2022). Algunas barreras logísticas podrían dificultar su implementación hospitalaria, además de no resultar factible en todas las ocasiones, sobre todo en el momento agudo o en pacientes con determinados traumatismos o cirugías, además de que para utilizar la CI se requieren ciertas condiciones clínicas. Así, Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024) señalan que hasta en un 58% de los pacientes covid-19 ingresados en UCI no se pudo utilizar el Q-NRG+, por motivos logísticos en un 27% de los casos y por motivos clínicos en el 31% restante. Los problemas logísticos pueden resolverse con una adecuada implicación de los profesionales, tanto en su conocimiento de la tecnología y uso de la CI como en su disponibilidad. Si el motivo es clínico, los autores proponen realizar la CI tan pronto como dicha situación clínica se resuelva. Por todo ello, la CI se consideraba una tecnología principalmente destinada a la investigación, aunque se habían consensuado algunas propuestas de uso de esta tecnología para determinadas situaciones clínicas o pacientes concretos en los que la determinación del REE sí debería realizarse mediante CI, como condiciones clínicas que alteraran de forma importante el REE, o cuando el paciente no respondía al tratamiento nu-

tricional administrado basado en otras mediciones, o cuando un paciente en UCI requiriera una nutrición personalizada por pérdida continuada de peso o un estado inflamatorio persistente (Mtaweh et al., 2018).

Ante las limitaciones de uso de los calorímetros, Q-NRG+ surge respaldado por el grupo de expertos del estudio ICALIC para facilitar el uso clínico de esta tecnología. Frente a otros calorímetros indirectos, Q-NRG+ es un dispositivo de pequeño tamaño, con un mantenimiento fácil, de calibración mensual del gas, que permite obtener mediciones de EE precisas y estables, siendo el único calorímetro disponible comercialmente que ha sido testado frente a la espectrometría de masa para garantizar resultados más precisos. Su utilidad se ha comprobado tanto en pacientes con ventilación espontánea como en VM invasiva, con una FiO₂ de hasta 70%, mientras que este porcentaje es del 60% en otros calorímetros indirectos. Además, el tiempo requerido para obtener mediciones válidas es inferior a otros dispositivos, de entre 11 a 20 minutos como se ha podido observar en dos de los estudios incluidos en este informe (Chung et al., 2024; Lakenman et al., 2024). Por otro lado, Q-NRG+ incorpora un software de manejo intuitivo para todo tipo de profesionales clínicos. Por todo ello, se considera un equipo de uso sencillo para la práctica clínica (Oshima et al., 2020). Otra ventaja es que se utiliza junto al paciente, próximo a su boca, lo que reduce la posibilidad de fugas de aire en el sistema y podría explicar las diferencias encontradas con algunas mediciones de otros dispositivos.

Por todo esto se espera que el uso del Q-NRG+ se vea incrementado, lo que unido a su capacidad para realizar una medición continua durante la estancia en UCI, permita individualizar la prescripción del tratamiento nutricional diario, limitando el riesgo de una infra o sobrealimentación, y se consiga un beneficio clínico para el paciente, como una reducción en la morbilidad (De Waele et al., 2018; Kamel, 2024).

Las EP llevan utilizándose en la práctica clínica durante muchos años, por su fácil y rápida aplicación, pero presentan importantes desventajas. La principal desventaja señalada de las EP es que están basadas en variables estáticas como la edad, estatura, sexo, que no reflejan las fluctuaciones que se van sucediendo a lo largo del día o en las diferentes fases de la evolución de la enfermedad, en concreto, no se ven modificadas por los cambios metabólicos que suceden en el paciente crítico. Además la EP están basadas en adultos sanos con pesos corporales relativamente normales, por lo que su aplicación en pacientes obesos, con IMC >30 kg/m², resulta menos fiable (Singer et al., 2019). Para estos casos, se recomienda utilizar la información aportada por la CI para personalizar el tratamiento nutricional, pues el mREE parece evitar tanto la infra como la sobrealimentación de los pacientes, en comparación a las EP. También se ha observado que las EP sobreestiman e infraestiman el REE, independientemente de si se utiliza el peso actual,

el ideal o el ajustado (Londoño-Londoño et al., 2024). Varios autores (Chávez et al., 2024; Kagan et al., 2023; Koekkoek et al., 2020) proponen utilizar la medición de VCO_2 mediante capnografía volumétrica como alternativa a la CI y a las EP para predecir el REE, pues se ha constatado una mayor exactitud diagnóstica que las EP. Aunque el VCO_2 no es tan preciso como la CI, también permite estimar los requerimientos energéticos de los pacientes críticos y parece tener buenos resultados en determinados grupos de pacientes (grandes quemados, obesos y pacientes muy longevos). Además, su carga logística es menor, es fácil de utilizar por el personal sanitario y tiene un coste menor que los calorímetros indirectos.

Sin embargo, a pesar de la mayor eficiencia diagnóstica de los calorímetros indirectos frente a las EP, existe cierta controversia en la literatura en cuanto a su repercusión real en el paciente. Los resultados de los artículos seleccionados para este informe así como los ofrecidos por las revisiones sistemáticas y meta-análisis parecen indicar que, en la fase aguda de la enfermedad, no se requiere una medición tan precisa para establecer objetivos energéticos, pues no se ha demostrado que el uso de la CI para guiar la nutrición temprana se acompañe de un evidente beneficio clínico en los pacientes críticos en la UCI. Una posible explicación sería que el mREE no refleje las necesidades energéticas durante esta fase aguda. Además, el hecho de que una alimentación con menor aporte energético en la fase aguda de la enfermedad puede ser beneficiosa, hace que la medición del EE con CI durante esta etapa no tenga tanto interés como se suponía (Rousseau et al., 2022), y que algunas EP como la EP simple basada en el peso (25 kcal/kg/día) podría proporcionar una aproximación clínicamente útil de los requerimientos energéticos. Otros consideran que el hecho de proporcionar un porcentaje de 50%-80% de los requerimientos consigue un beneficio clínico similar al de la alimentación completa (100%) en las fases tempranas de la enfermedad crítica (McClave & Omer, 2021). Otros autores señalan que la CI tendría importancia para un adecuado tratamiento nutricional en fases más tardías de la enfermedad, cuando se incrementa el anabolismo y respaldan que ofrezca un beneficio clínico a los pacientes en las fases iniciales de la enfermedad crítica (Stephens & Busch, 2025).

Diversos estudios han demostrado que la adhesión a protocolos de nutrición se asocia a una menor tasa de complicaciones y a una reducción de la mortalidad, además de mejorar de forma significativa la recuperación funcional y calidad de vida de los pacientes (Schuetz et al., 2019). Sin embargo, otros autores indican que a pesar de las ventajas teóricas de aportar las necesidades calóricas exactas, el impacto clínico de estas estrategias resulta limitado, y que sería necesario revisar y actualizar los protocolos actuales de tratamiento nutricional en las UCIs (Allingstrup et al., 2017; Singer et al., 2021; Stephens & Busch, 2025).

Para McClave y Omer (McClave & Omer, 2021), la CI tendría mayor utilidad clínica cuando es necesario determinar los requerimientos calóricos en condiciones en las que las EP resultan inexactas, por ejemplo, en pacientes con amputaciones o con obesidad grave, o en casos de estado clínico muy grave como se describió en muchos pacientes covid-19, mientras que fuera de estas situaciones, se considera que el uso rutinario de CI como guía para el tratamiento nutricional temprana no implica una modificación de los resultados clínicos.

Cabría esperar que las cinco revisiones sistemáticas consideradas en este informe, todas ellas publicadas entre 2020 y 2024, y en las que se seleccionaron algunos de los mismos estudios primarios, tuvieran unos resultados consistentes. Sin embargo, llama la atención que muestren resultados algo diferentes entre sí, incluso dispares, como también han señalado recientemente Stephens y Busch (Stephens & Busch, 2025). Es posible que estos distintos resultados sean consecuencia de la aplicación de diferentes criterios metodológicos, bien en la selección de los estudios, en los métodos de ponderación, en el manejo de la heterogeneidad en el meta-análisis, etc. Algunas revisiones sistemáticas (Duan et al., 2021) parecían confirmar que el uso de la CI suponía mejoras en determinados resultados clínicos de los pacientes críticos en UCI, mientras que otras, como la realizada en 2024 por Watanabe y cols. (Watanabe et al., 2024), no ofrecen resultados tan evidentes a favor de la CI o la realizada por Tatucu-Babet (Tatucu-Babet et al., 2020) en la que la CI no se asociaba a una mejoría en el tiempo de estancia en UCI o duración de la VM. Algunas sugieren una menor mortalidad en el grupo de pacientes en los que se utilizó la CI para guiar el tratamiento nutricional, pero en otros casos, no se ha demostrado beneficio significativo en variables clínicas como el tiempo de estancia en UCI o estancia hospitalaria, duración de la VM, tasa de infecciones nosocomiales o mortalidad a corto y largo plazo.

Un estudio sobre nutrición parenteral como complemento para alcanzar el 100% del objetivo calórico calculado mediante CI, demostró una disminución de las infecciones nosocomiales en comparación a administrar sólo el 60% del objetivo calórico con nutrición enteral (Heidegger et al., 2013). Los ensayos TITACOS e EAT-ICU encontraron que la nutrición guiada por CI no lograba mejorar de forma significativa la mortalidad ni la función física a largo plazo, respectivamente (Allingstrup et al., 2017; Singer et al., 2011). También recuerdan que el estudio TITACOS internacional tuvo que suspenderse prematuramente por la lentitud en el reclutamiento de casos, lo que pone de manifiesto la dificultad para implementar la CI en la práctica diaria (Rousseau et al., 2022; Singer et al., 2021).

Quedan diversas cuestiones por resolver y con las que poder establecer consensos en determinados aspectos tales como el momento óptimo para realizar las

mediciones de EE durante la estancia en UCI, si deben hacerse mediciones continuas o intermitentes y la frecuencia de repetición de estas mediciones a lo largo del tiempo de tratamiento de los pacientes críticos. Sólo en uno de los estudios incluidos en este informe (Oshima et al., 2017) se analiza el momento óptimo para realizar las mediciones de CI, recomendando obtener la primera medición de CI el 3°-4° día después del ingreso en UCI y posteriormente, realizar mediciones cada 2-3 días o repetir si se producen cambios en el paciente o en el curso de la enfermedad. Otros autores (Rattanachaiwong & Singer, 2019) sugieren que la CI debería realizarse cuando el paciente está ya en una fase metabólica estable, en torno a 72 horas después del ingreso en UCI. Para algunos autores, si el paciente en VM no está estable, es recomendable la monitorización continua del REE con CI, mientras que si el paciente está estable, es posible realizar determinaciones cada 24 h (Reid, 2007; Taboni et al., 2023). Es necesario seguir investigando si la nutrición guiada por CI supone una mejora de los resultados en salud de los pacientes con estancias prolongadas en la UCI. También se requiere investigación adicional para determinar si los avances en la tecnología de CI mejoran tanto la precisión como la viabilidad en la UCI.

Por otro lado, no se han realizado estudios de coste-efectividad del Q-NRG+ y, aunque el dispositivo es más económico que otros calorímetros indirectos, es necesario confirmar que resulte coste-efectivo.

Actualmente se está llevando a cabo un estudio de cohorte longitudinal, prospectivo y multicéntrico, denominado **EPIC** (*Energy expenditure and substrate utilization in Critically ill patients*, identificador [Clinicaltrials.gov: NCT05124860](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/study/NCT05124860)) (Sundström Rehal & Rooyackers, 2025), cuyo objetivo es describir los cambios longitudinales del EE y las características clínicas asociadas a una gran cohorte prospectiva de pacientes mayores de 18 con estancia prolongada en UCI. Se espera incluir a 1.250 pacientes con una estancia prevista en UCI superior a 10 días. Este estudio parte de la hipótesis de que existe un cambio importante en el EE medio y el RQ entre las fases temprana (días 1-3), intermedia (días 4-10) y tardía (más de 10 días) en el contexto de la UCI. En el estudio se han excluido pacientes con quemaduras de más del 20% de la superficie corporal, embarazadas y pacientes readmitidos en UCI después de más de 72 h después del alta que ya hubieran sido incluidos en el estudio, mientras que si el paciente reingresa en UCI antes de las 72 h se considera una continuación del anterior ingreso. Los calorímetros indirectos aceptados para la medición en este proyecto son los siguientes: E-sCOVX, Quark RMR, Q-NRG+ y BEACON Caresystem (Mermaid Care, Nørresundby, Denmark). Todavía no se dispone de resultados de este estudio, pero dado el número de pacientes previsto y su metodología de análisis, se espera que aporten información valiosa sobre el uso de la CI en pacientes críticos en UCI.

En relación a las percepciones de los pacientes

La UCI es un espacio sumamente especializado y equipado con la presencia y uso de una disposición espacial de un gran número de tecnologías sanitarias. Se caracteriza además por tratamientos médicos complejos, alta carga de trabajo y personal, enfermedad y vulnerabilidad de los pacientes (Roxberg et al., 2020).

Existe un corpus de literatura que contempla las experiencias de pacientes con enfermedades críticas. No obstante, los estudios sobre relatos de vivencias personales de pacientes y/o familiares respecto al tratamiento nutricional en el contexto de UCI son limitados. Se han considerado 2 estudios: la revisión narrativa de Hardy (Hardy et al., 2025), que propone una compleja gama de factores que influyen en la experiencia del paciente con la nutrición, y el estudio de Persenius (Persenius et al., 2009), que detalla las experiencias nutricionales de pacientes con nutrición enteral.

Las complicaciones del tratamiento, como la confusión y el delirio, inhiben a los pacientes en estado crítico de manejar su situación de forma independiente. Por ello, las familias son un actor importante de la UCI aunque puedan sentirse angustiadas debido a factores que interactúan, como el estado crítico del paciente, la responsabilidad de actuar como defensor del paciente y la implicación en la toma de decisiones relacionadas con el tratamiento (Gunnlaugsdóttir et al., 2024).

La implicación familiar en el cuidado ha surgido como un aspecto importante en cuidados críticos. La participación de la familia en la atención nutricional en el contexto de la enfermedad crítica es un campo de interés emergente (Marshall et al., 2025). En la trayectoria del paciente crítico el apoyo de familiares o amigos se asocia con un sentimiento de seguridad (Cutler et al., 2013). La familia puede desempeñar un papel relevante en la reducción de barreras para la ingesta nutricional en la UCI. Su papel de colaboración puede diferir entre familias y dentro de ellas. Las preferencias de las familias pueden ser diversas, desde niveles más bajos de participación, como la información y consultoría, hasta una participación más activa. Un primer paso es determinar cómo y en qué contexto un miembro de la familia puede querer participar en la atención al paciente (Marshall et al., 2025).

En el estudio “EFFECT of FAMILY PARTICIPATION”, un ECA por conglomerados de diseño escalonado, en el que participaron 306 familiares y 235 profesionales de 7 UCIs de adultos en Países Bajos, se evaluó el efecto de un programa facilitador de la participación familiar en múltiples actividades: ayudar en la comunicación hospitalaria, proporcionar actividades de entretenimiento/distracción, facilitar el confort, el cuidado personal, ayudar con ejercicios de respiración, movilización y nutrición. El 48% de los miembros de la familia

participaron en las actividades de cuidado nutricional. Esto sugiere que se trata de un área factible de colaboración de la familia (Dijkstra et al., 2024). La aplicación de este programa condujo a una mayor claridad, conocimiento y habilidades sobre la participación familiar en actividades de cuidados esenciales entre familiares y profesionales sanitarios de UCI, pero no hubo un cambio relevante en los síntomas de salud mental en los familiares tres meses después del alta ni en los niveles de satisfacción.

Un estudio incorporó la participación familiar en la atención a la nutrición en 9 UCIs de 3 países (EE.UU., Canadá y Australia) (Marshall et al., 2023). Se trata de un ECA que comparó 3 grupos de pacientes/familias: grupo de atención habitual, grupo sometido a una intervención nutricional multicomponente diseñada para ayudar a las familias a ganar confianza y habilidades para una nutrición óptima durante y después de la recuperación de una enfermedad crítica, y otro tercer grupo de intervención de apoyo a la familia en la toma de decisiones compartida con profesionales de la salud. El resultado primario relacionado con la nutrición fue la ingesta de proteínas y energía durante la UCI y la estancia hospitalaria. Los resultados reflejaron que no fue posible demostrar la eficacia de ninguna de las intervenciones. Según los autores, se precisa una mayor comprensión de hasta qué punto las familias quieren y pueden participar o colaborar con los profesionales en el cuidado de un familiar gravemente enfermo y en qué circunstancias.

Una iniciativa generada a partir de una síntesis temática de revisiones cualitativas y de métodos mixtos de la literatura, mediante la evaluación GRADE-CERQual para transferir los hallazgos a las recomendaciones, propone una serie de recomendaciones de práctica clínica de enfermería focalizadas principalmente en responder a las necesidades existenciales de los familiares, establecer bases óptimas para la comunicación recíproca y fomentar un enfoque y un ambiente humanizador en la UCI (Gunnlaugsdóttir et al., 2024).

Existen propuestas de humanización de las UCIs hacia entornos más amables y menos estresantes para enfermos y familiares. La Fundación Alemana de Enfermería “*Stiftung Pflege*” lanzó el proyecto de UCI Familiar en 2008 y desde entonces ha certificado 250 UCIs en Alemania. La certificación otorga a los familiares el derecho a estar con los pacientes las 24 horas del día (Scheer et al., 2025) y se promueven cambios positivos dentro del equipo facilitando la interacción con los miembros de la familia, mejorando la comunicación y fomentando un entorno laboral de apoyo.

Si bien la colaboración y el compromiso de las familias en la UCI es reconocida en la literatura, su promoción en la práctica real es un desafío para las

familias y profesionales. La participación puede ser beneficiosa para pacientes o familiares, pero puede no ser necesariamente beneficiosa para todos los actores en la trayectoria de una enfermedad crítica. Algunos miembros de la familia pueden estar bajo un gran estrés, o sentir un nivel de responsabilidad si no se logran objetivos nutricionales, o pueden existir conflictos en las relaciones familiares, etc. (Hardy et al., 2025). La colaboración de la familia puede suponer una gran carga, además del malestar psicológico del entorno de la UCI y la hospitalización de sus familiares enfermos, muchos miembros de la familia pueden sufrir ansiedad, depresión o síntomas de trastorno de estrés postraumático durante o después de la hospitalización y/o fallecimiento de un ser querido en la UCI (Quenot et al., 2017).

En el contexto de los cuidados intensivos, el lugar de la familia o de las personas que dan apoyo y con las que el paciente mantiene una relación afectiva plantea una serie de cuestiones éticas que deben ser consideradas dentro del marco más amplio de la llamada “atención centrada en la familia”. Este enfoque de atención sanitaria respeta y responde a las necesidades y valores de cada familia y requiere una estrategia de comunicación sistemática dentro del equipo sanitario, combinada con un entorno lo más favorable posible a la presencia e implicación de la familia (Quenot et al., 2017). Aunque una buena comunicación sigue siendo la base de la satisfacción familiar en la UCI, también existen otras medidas sencillas que pueden implementarse para asegurar que las familias estén satisfechas con su experiencia en la UCI como facilitar la presencia de la familia al lado de su ser querido en todo momento, mantener al mínimo el ruido de fondo, adaptar los procedimientos de cuidado a los horarios de visita de la familia, etc. Además, la implicación de la familia en la toma de decisiones al final de la vida debe organizarse adecuadamente dentro de la UCI (Quenot et al., 2017).

Por tanto, es necesario comprender cómo se puede incorporar la participación familiar en el espacio de la UCI, qué grado de implicación demanda cada familia y cómo afecta ésta a los resultados de salud de pacientes y satisfacción de familias y profesionales. Varios estudios sobre la participación de pacientes en la UCI han revelado que la trayectoria de implicación del paciente no sólo depende de sus deseos, sino de cómo los profesionales logran incluir e informar a los pacientes en las decisiones (Karlsen et al., 2024). Aunque la mayoría de los profesionales sanitarios están dispuestos a facilitar la participación familiar, actualmente falta una orientación práctica y la base de evidencia fundamental sobre los beneficios y limitaciones de la participación familiar en la atención de pacientes adultos en UCI es escasa (Dijkstra et al., 2024).

En el caso del tratamiento nutricional es preciso acercarse al conocimiento, las creencias y las actitudes de profesionales de la UCI sobre la nutrición en la

atención a pacientes críticos y entender las barreras potenciales. Los resultados de una revisión sistemática con datos cualitativos y cuantitativos procedentes de 18 estudios han destacado que la nutrición se percibe como de suma importancia en cuidados intensivos, pero los profesionales sanitarios consideraban que se le da una menor prioridad que a otras intervenciones que ayudan a salvar vidas (Lyons et al., 2022). El personal de enfermería se sentía responsable de la administración y el seguimiento nutricional, mientras que la evaluación nutricional parecía responsabilidad del dietista o del profesional médico, existiendo de esta manera diferencias en la definición de las responsabilidades entre profesiones. Las barreras comunes expresadas se referían a recursos insuficientes, falta de protocolos nutricionales e intolerancia gastrointestinal. Entre los factores facilitadores identificados se incluyeron la educación nutricional y la presencia de un equipo multidisciplinario de apoyo.

La implementación de protocolos nutricionales, la mejora de la educación en nutrición clínica y una mayor clarificación de las funciones y las responsabilidades pueden contribuir a una mejora de la prestación nutricional en cuidados intensivos (Lyons et al., 2022).

Un factor que complica la priorización de la atención nutricional puede ser la falta de un beneficio inmediato observable o notable frente a otros aspectos de la atención (por ejemplo, no tomar la medicación) (Lyons et al., 2022). La gravedad de la enfermedad también puede hacer que el personal de la UCI pase por alto el soporte nutricional. Un estudio realizado en Londres indica que en UCI de adultos, el 44% del personal médico y el 26% del personal de enfermería conocían las pautas sobre tratamiento nutricional, además, al 59% de los participantes les hubiera gustado recibir más capacitación sobre el soporte nutricional para pacientes críticos (Lane et al., 2014).

Debido a la diversidad y gravedad de los pacientes críticos, el manejo nutricional de estos pacientes involucra múltiples disciplinas de ciencias de la salud, así como factores administrativos y políticos. Sin embargo, en muchos países el enfoque de nutrición de cuidados críticos que requiere la colaboración entre nutricionistas, personal de enfermería, médicos de UCI, farmacéuticos y otros profesionales, no se encuentra suficientemente desarrollado para garantizar una cooperación efectiva y coordinada entre los equipos multidisciplinarios (Stoian et al., 2025). Por tanto, la formación de equipos multidisciplinarios y la coordinación efectiva se deben considerar para garantizar un adecuado tratamiento nutricional.

6. Conclusiones

- El tratamiento nutricional personalizado es clave para una mejor evolución del paciente ingresado en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCIs), contribuyendo a una menor tasa de complicaciones y a una reducción de la morbilidad, además de mejorar la recuperación funcional y la calidad de vida de los pacientes después de la UCI.

- Determinar las necesidades energéticas en el paciente crítico resulta fundamental para un adecuado tratamiento nutricional, ajustando la prescripción calórica y proteica del paciente crítico y, con ello, evitando la sobre y la infraalimentación.

- La calorimetría indirecta (CI) proporciona información sobre el metabolismo de los sustratos, lo que permite ajustar y optimizar el aporte nutricional según las necesidades del paciente.

- La CI utilizando Q-NRG+ proporciona mediciones del gasto energético en reposo (REE) con mayor precisión y exactitud que cualquier ecuación predictiva (EP), por lo que se considera el estándar de oro para la determinación del REE. Los resultados predichos por las EP no ofrecen suficiente precisión y exactitud y se correlacionan de forma débil con los valores obtenidos mediante la CI, pudiendo ocasionar una sobre o infraalimentación del paciente.

- Q-NRG+ ofrece ventajas técnicas frente a otros calorímetros al ser un equipo compacto y portátil, con un manejo y un mantenimiento más sencillos, que facilitan su empleo en las UCIs y por parte de diferentes tipos de profesionales sanitarios. Q-NRG+ puede utilizarse tanto en pacientes con respiración espontánea como en ventilación mecánica (VM) invasiva, tanto si reciben nutrición enteral como parental y tanto en pacientes en UCI como fuera de ella. Además, la interpretación de los resultados se realiza de manera más sencilla.

- Q-NRG+ permite realizar un seguimiento longitudinal de los requerimientos energéticos del paciente, ya que estos pueden variar a lo largo del curso de la enfermedad.

- Para garantizar la precisión de las mediciones con Q-NRG+ se deben seguir las indicaciones dadas por el fabricante y deben cumplirse determinadas condiciones clínicas.

- En general, las indicaciones para la realización de CI, y de Q-NRG+, son las siguientes: 1) condiciones clínicas que modifiquen significativamente el REE (como alteraciones corporales importantes, estados inflamatorios persistentes o enfermedades críticas graves); 2) pacientes con respuesta inadecuada al tratamiento nutricional prescrito y 3) poder establecer un tratamiento nutricional individualizado.

- La revisión de la literatura sugiere que la CI determina con mayor precisión las demandas metabólicas en pacientes críticos en UCI, en comparación con las EP, especialmente en pacientes complejos y en aquellos ubicados en los extremos del índice de masa corporal. Esto contribuye a reducir la incertidumbre en la estimación de los requerimientos energéticos de los pacientes críticos facilitando la toma de decisiones en el manejo nutricional. Además, su aplicación proporciona información no sólo diagnóstica para guiar el tratamiento nutricional sino también de valor pronóstico. Sin embargo, la evidencia para respaldar el uso temprano de CI en UCI todavía no es concluyente pues los datos actuales no corroboran de forma clara que el uso de CI en las primeras fases de la enfermedad suponga un beneficio clínico para el paciente crítico.

- La disponibilidad de protocolos estructurados para guiar el tratamiento nutricional resulta fundamental para asegurar una nutrición adecuada basada en la mejor evidencia disponible, de modo que se minimice el riesgo de sobrealimentación e infraalimentación, factores que se asocian a resultados clínicos desfavorables en pacientes críticos en UCI.

- Q-NRG+ podría utilizarse en el manejo de pacientes críticos de diferentes etiologías, incluyendo sepsis, traumatismos graves, covid-19 o procesos oncológicos, entre otros, dado que la CI constituye la técnica recomendada para determinar las necesidades energéticas y monitorizar su evolución a lo largo del tiempo. Aunque la evidencia es todavía limitada, en pacientes críticos con traumatismo grave bajo VM, los resultados obtenidos con Q-NRG+ sugieren que el hipermetabolismo en las fases iniciales puede ser menor de lo que previamente se presuponía.

- Tal como muestra la literatura científica existe cierta controversia respecto a si el uso de CI supone una mejora en los resultados en salud para el paciente, no existiendo una evidencia sólida de que una medición más exacta de las necesidades energéticas del paciente en UCI mediante los calorímetros indirectos conlleve un beneficio claro para el paciente. Los datos actuales no corroboran de forma clara que el uso de CI, en comparación a las EP, se asocie a reducción de la mortalidad en UCI ni hospitalaria, ni a reducción en la tasa de infecciones, ni se acompañe de una reducción en la duración de la VM, ni en el tiempo de

estancia hospitalaria, en especial en la fase aguda de la enfermedad. Tampoco queda demostrado por la literatura revisada que el uso de Q-NRG+ mejore de forma significativa la recuperación funcional y la calidad de vida de los pacientes después de la UCI.

- Se han descrito algunas limitaciones en el uso clínico de esta tecnología, como el coste de los calorímetros indirectos y las barreras logísticas, que dificultan su implementación hospitalaria, además de no resultar factible en todas las ocasiones, especialmente durante la fase aguda de la enfermedad o en determinadas situaciones clínicas. No obstante, con el dispositivo Q-NRG+ parece que estas limitaciones podrían ser menores por sus ventajas técnicas y por ello se espera una mayor implantación y utilización en la práctica clínica.

Futuras investigaciones:

Resulta necesario realizar investigaciones de adecuada calidad metodológica estratificadas por grupos fenotípicos, dada la variabilidad observada entre pacientes durante la fase inicial de la enfermedad crítica en términos de tolerancia a la nutrición y respuesta inflamatoria. Esto permitiría que el tratamiento nutricional sea personalizado y adaptado a las características de cada paciente.

También son necesarios nuevos estudios que tengan en consideración la fase metabólica del paciente en función de la gravedad de la enfermedad de base o de la fase de la misma con el fin de clasificar a los pacientes según su respuesta al tratamiento nutricional.

Quedan por resolver diversos aspectos sobre la aplicación de la CI como el momento óptimo para realizar la primera medición, la frecuencia a la que se deben realizar las mediciones y la manera de trasladar los resultados obtenidos de la CI para ajustar y guiar el tratamiento nutricional.

Un campo importante a explorar es el de la colaboración y/o participación del paciente y familia en el espacio de la UCI y la comunicación con los profesionales sanitarios en relación con el tratamiento nutricional y otros factores que contribuyan a un entorno más acogedor y seguro.

7. Referencias

1. Achamrah, N., Delsoglio, M., De Waele, E., Berger, M. M., & Pichard, C. (2021). Indirect calorimetry: The 6 main issues. *Clin Nutr*, 40(1), 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.06.024>
2. Al-Dorzi, H. M., & Arabi, Y. M. (2021). Nutrition support for critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 45(S2), 47-59. <https://doi.org/10.1002/jpen.2228>
3. Allingstrup, M. J., Kondrup, J., Wiis, J., Claudius, C., Pedersen, U. G., Hein-Rasmussen, R., Bjerregaard, M. R., Steensen, M., Jensen, T. H., Lange, T., Madsen, M. B., Moller, M. H., & Perner, A. (2017). Early goal-directed nutrition versus standard of care in adult intensive care patients: the single-centre, randomised, outcome assessor-blinded EAT-ICU trial. *Intensive Care Med*, 43(11), 1637-1647. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4880-3>
4. Ang, C. Y. S., Nor, M. B. M., Nordin, N. S., Kyi, T. Z., Razali, A., & Chiew, Y. S. (2025). Methods for estimating resting energy expenditure in intensive care patients: A comparative study of predictive equations with machine learning and deep learning approaches. *Comput Methods Programs Biomed*, 262, 108657. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2025.108657>
5. Arends, J., Baracos, V., Bertz, H., Bozzetti, F., Calder, P. C., Deutz, N. E. P., Erickson, N., Laviano, A., Lisanti, M. P., Lobo, D. N., McMillan, D. C., Muscaritoli, M., Ockenga, J., Pirlich, M., Strasser, F., de van der Schueren, M., Van Gossum, A., Vaupel, P., & Weimann, A. (2017). ESPEN expert group recommendations for action against cancer-related malnutrition. *Clin Nutr*, 36(5), 1187-1196. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.06.017>
6. Arroyo Sánchez, A. S. (2020). Calorimetría indirecta en cuidado crítico: una revisión narrativa. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 3(2), 45-56. <https://doi.org/10.35454/rncm.v3n2.88>
7. Bendavid, I., Lobo, D. N., Barazzoni, R., Cederholm, T., Coeffier, M., de van der Schueren, M., Fontaine, E., Hiesmayr, M., Laviano, A., Pichard, C., & Singer, P. (2021). The centenary of the Harris-Benedict equations: How to assess energy requirements best? Recommendations from the ESPEN expert group. *Clin Nutr*, 40(3), 690-701. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.11.012>

8. Berger, M. M., & Pichard, C. (2019). Feeding should be individualized in the critically ill patients. *Curr Opin Crit Care*, 25(4), 307-313. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000000625>
9. Blasco Redondo, R. (2015). Resting energy expenditure; assessment methods and applications. *Nutr Hosp*, 31 Suppl 3, 245-254. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8772>
10. Bossi, P., Delrio, P., Mascheroni, A., & Zanetti, M. (2021). The Spectrum of Malnutrition/Cachexia/Sarcopenia in Oncology According to Different Cancer Types and Settings: A Narrative Review. *Nutrients*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/nu13061980>
11. Chada, R. R., Chidrawar, S., Goud, B. A., Maska, A., Medanki, R., & Nagalla, B. (2021). Association Between Nutrition Delivery, Modified Nutrition Risk In Critically Ill Score, and 28-Day Mortality. *Nutr Clin Pract*, 36(5), 1020-1033. <https://doi.org/10.1002/ncp.10673>
12. Chapple, L. S., Tatuco-Babet, O. A., Lambell, K. J., Fetterplace, K., & Ridley, E. J. (2021). Nutrition guidelines for critically ill adults admitted with COVID-19: Is there consensus? *Clin Nutr ESPEN*, 44, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.05.003>
13. Chávez, D. G. R., Dector, L. D. M., & Enríquez, S. D. (2024). Calorimetría indirecta versus cálculo de requerimiento calórico por medición de MVCO2 dado por ventilador mecánico. *Med Crit*, 38(6), 478-485. <https://doi.org/10.35366/119236>
14. Chung, M., Macanchi, N., Veliz, J., Abril, P., Martínez, E., garcía, C., Bowen, A., Rosemberg, F., & Aguirre, E. (2024). Estimación del gasto energético por calorimetría indirecta comparada con ecuaciones predictivas en pacientes critico-oncológicos. *Revista RENC*, 7(1), 9-17.
15. Compher, C., Bingham, A. L., McCall, M., Patel, J., Rice, T. W., Braunschweig, C., & McKeever, L. (2022). Guidelines for the provision of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: The American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 46(1), 12-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jpen.2267>
16. Cooper, J. A., Watras, A. C., O'Brien, M. J., Luke, A., Dobratz, J. R., Earthman, C. P., & Schoeller, D. A. (2009). Assessing validity and

- reliability of resting metabolic rate in six gas analysis systems. *J Am Diet Assoc*, 109(1), 128-132. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.10.004>
17. Cunningham, K. F., Aeberhardt, L. E., Wiggs, B. R., & Phang, P. T. (1994). Appropriate interpretation of indirect calorimetry for determining energy expenditure of patients in intensive care units. *Am J Surg*, 167(5), 547-549. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(94\)90255-0](https://doi.org/10.1016/0002-9610(94)90255-0)
 18. Cutler, L. R., Hayter, M., & Ryan, T. (2013). A critical review and synthesis of qualitative research on patient experiences of critical illness. *Intensive Crit Care Nurs*, 29(3), 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2012.12.001>
 19. de la Cruz Marcos, S., de Mateo Silleras, B., Camina Martín, M. A., Carreño Enciso, L., Miján de la Torre, A., Galgani, J. E., & Redondo del Río, M. P. (2015). [Agreement between indirect calorimetry and predictive equations in a sample of spanish healthy adults]. *Nutr Hosp*, 32(2), 888-896. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.2.9162> (Concordancia entre calorimetría indirecta y modelos predictivos en una población sana española.)
 20. De Waele, E., Honoré, P. M., & Malbrain, M. (2018). Does the use of indirect calorimetry change outcome in the ICU? Yes it does. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 21(2), 126-129. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000000452>
 21. De Waele, E., Jonckheer, J., & Wischmeyer, P. E. (2021). Indirect calorimetry in critical illness: a new standard of care? *Curr Opin Crit Care*, 27(4), 334-343. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000000844>
 22. De Waele, E., Spapen, H., Honoré, P. M., Mattens, S., Van Gorp, V., Diltor, M., & Huyghens, L. (2013). Introducing a new generation indirect calorimeter for estimating energy requirements in adult intensive care unit patients: feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *J Crit Care*, 28(5), 884.e881-886. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2013.02.011>
 23. De Waele, E., & van Zanten, A. R. H. (2022). Routine use of indirect calorimetry in critically ill patients: pros and cons. *Crit Care*, 26(1), 123. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04000-5>
 24. de Weir, J. B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*(109), 1-9.

25. Delsoglio, M., Achamrah, N., Berger, M. M., & Pichard, C. (2019). Indirect Calorimetry in Clinical Practice. *J Clin Med*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/jcm8091387>
26. Delsoglio, M., Dupertuis, Y. M., Oshima, T., van der Plas, M., & Pichard, C. (2020). Evaluation of the accuracy and precision of a new generation indirect calorimeter in canopy dilution mode. *Clin Nutr*, 39(6), 1927-1934. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.08.017>
27. Dijkstra, B. M., Rood, P. J. T., Teerenstra, S., Rutten, A. M. F., Leerentveld, C., Burgers-Bonthuis, D. C., Festen-Spanjer, B., Klarenbeek, T., Van Den Boogaard, M., Ewalds, E., Schoonhoven, L., Van Der Hoeven, J. G., & Vloet, L. C. M. (2024). Effect of a Standardized Family Participation Program in the ICU: A Multicenter Stepped-Wedge Cluster Randomized Controlled Trial. *Crit Care Med*, 52(3), 420-431. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000006093>
28. Duan, J. Y., Zheng, W. H., Zhou, H., Xu, Y., & Huang, H. B. (2021). Energy delivery guided by indirect calorimetry in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*, 25(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03508-6>
29. Dudzik, J. M., Balk, E. K., & Deierlein, A. L. (2025). The nutritional characteristics and experiences of survivors of critical illness after hospital discharge: A multi-method narrative review. *Clin Nutr ESPEN*, 67, 612-625. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2025.03.171>
30. Dupertuis, Y. M., Delsoglio, M., Hamilton-James, K., Berger, M. M., Pichard, C., Collet, T. H., & Genton, L. (2022). Clinical evaluation of the new indirect calorimeter in canopy and face mask mode for energy expenditure measurement in spontaneously breathing patients. *Clin Nutr*, 41(7), 1591-1599. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.05.018>
31. Fadeur, M., Kaux, J. F., De Flines, J., Misset, B., Paquot, N., & Rousseau, A. F. (2025). Indirect calorimetry in canopy mode in healthy subjects: performances of the Q-NRG device compared to the Deltatrac II. *Acta Gastroenterol Belg*, 88(1), 13-17. <https://doi.org/10.51821/88.1.13301>
32. Faisy, C., Guerot, E., Diehl, J.-L., Labrousse, J., & Fagon, J.-Y. (2003). Assessment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(2), 241-249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/78.2.241>

33. Falcioni, L., Guidetti, L., Baldari, C., Posada, A. S., Wing, C., Dover, L., & Meucci, M. (2025). Accuracy and repeatability of the COSMED(R) Q-NRG max mobile metabolic system. *PLoS One*, 20(3), e0319394. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319394>
34. FAO/WHO/UNU. (2001). Human energy requirements. *Acceso el 9 de abril de 2025*. <https://www.fao.org/4/y5686e/y5686e00.htm>.
35. Fiaccadori, E., Sabatino, A., Barazzoni, R., Carrero, J. J., Cupisti, A., De Waele, E., Jonckheer, J., Singer, P., & Cuerda, C. (2021). ESPEN guideline on clinical nutrition in hospitalized patients with acute or chronic kidney disease. *Clin Nutr*, 40(4), 1644-1668. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.01.028>
36. Foley, N., Marshall, S., Pikul, J., Salter, K., & Teasell, R. (2008). Hypermetabolism following moderate to severe traumatic acute brain injury: a systematic review. *J Neurotrauma*, 25(12), 1415-1431. <https://doi.org/10.1089/neu.2008.0628>
37. Gonzalez-Granda, A., Schollenberger, A., Haap, M., Riessen, R., & Bischoff, S. C. (2019). Optimization of Nutrition Therapy with the Use of Calorimetry to Determine and Control Energy Needs in Mechanically Ventilated Critically Ill Patients: The ONCA Study, a Randomized, Prospective Pilot Study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 43(4), 481-489. <https://doi.org/10.1002/jpen.1450>
38. Graf, S., Karsegard, V. L., Viatte, V., Maisonneuve, N., Pichard, C., & Genton, L. (2013). Comparison of three indirect calorimetry devices and three methods of gas collection: a prospective observational study. *Clin Nutr*, 32(6), 1067-1072. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.08.012>
39. Gunnlaugsdóttir, T., Jónasdóttir, R. J., Björnsdóttir, K., & Klinke, M. E. (2024). How can family members of patients in the intensive care unit be supported? A systematic review of qualitative reviews, meta-synthesis, and novel recommendations for nursing care. *Int J Nurs Stud Adv*, 7, 100251. <https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2024.100251>
40. Haines, K. L., Walsh, J., Sytsma, T., Tiko-Okoye, C., Molinger, J., Howell, S., Agarwal, S., Vatsaas, C., Cox, C. E., Schmader, K., & Wischmeyer, P. E. (2024). Predictive Energy Equations Inaccurately Estimate Metabolic Demands of Older Adult Trauma Patients. *J Surg Res*, 302, 525-532. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.07.098>

41. Hardy, G., Marshall, A. P., Gantner, D., & Ridley, E. J. (2025). Patients' Experience of Nutrition Therapy During Critical Illness and Recovery: A Narrative Review. *Crit Care Clin*, 41(2), 313-325. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2024.09.004>
42. Harris, J. A., & Benedict, F. G. (1918). A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 4(12), 370-373. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.4.12.370>
43. Harris, J. A., & NBenedict, F. G. (1919). A biometric study of basal metabolism in man. . *Washington DC: Carnegie Institute of Washington.*, N° 279.
44. Heidegger, C. P., Berger, M. M., Graf, S., Zingg, W., Darmon, P., Costanza, M. C., Thibault, R., & Pichard, C. (2013). Optimisation of energy provision with supplemental parenteral nutrition in critically ill patients: a randomised controlled clinical trial. *The Lancet*, 381(9864), 385-393. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61351-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61351-8)
45. Hermans, A. J. H., Laarhuis, B. I., Kouw, I. W. K., & van Zanten, A. R. H. (2023). Current insights in ICU nutrition: tailored nutrition. *Curr Opin Crit Care*, 29(2), 101-107. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000001016>
46. Heyland, D. K., Lee, Z. Y., & Lew, C. C. (2021). Nutritional Prescription: Use of Indirect Calorimetry vs. Predictive Equations *Critical Care Nutrition: Systematic Reviews*. *Acceso el 11 de junio de 2025*.
47. Hsu, P. H., Lee, C. H., Kuo, L. K., Kung, Y. C., Chen, W. J., & Tzeng, M. S. (2018). Determination of the energy requirements in mechanically ventilated critically ill elderly patients in different BMI groups using the Harris-Benedict equation. *J Formos Med Assoc*, 117(4), 301-307. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2017.12.010>
48. *Institute of Health Economics*. (2014). Quality Appraisal of Case Series Studies Checklist. *Edmonton (AB): Institute of Health Economics; 2014*. Available from: https://www.ihe.ca/files/ihe_quality_appraisal_checklist_for_case_series_studies.docx
49. Jotterand Chaparro, C., Taffé, P., Moullet, C., Laure Depeyre, J., Longchamp, D., Perez, M. H., & Cotting, J. (2017). Performance of Predictive Equations Specifically Developed to Estimate Resting Energy Expenditure in Ventilated Critically Ill Children. *J Pediatr*, 184, 220-226. e225. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.12.063>

50. Jouinot, A., Vazeille, C., & Goldwasser, F. (2018). Resting energy metabolism and anticancer treatments. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 21(3), 145-151. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000457>
51. Kagan, I., Hellerman-Itzhaki, M., Bendavid, I., Statlender, L., Fishman, G., Wischmeyer, P. E., de Waele, E., & Singer, P. (2023). Controlled enteral nutrition in critical care patients - A randomized clinical trial of a novel management system. *Clin Nutr*, 42(9), 1602-1609. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2023.06.018>
52. Kagan, I., Zusman, O., Bendavid, I., Theilla, M., Cohen, J., & Singer, P. (2018). Validation of carbon dioxide production (VCO₂) as a tool to calculate resting energy expenditure (REE) in mechanically ventilated critically ill patients: a retrospective observational study. *Crit Care*, 22(1), 186. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2108-8>
53. Kamel, A. Y. (2024). Measurement and estimation of energy in the critically ill. *Curr Opin Crit Care*, 30(2), 186-192. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000001132>
54. Kamel, A. Y., Robayo, L., Liang, D., Rosenthal, M. D., Croft, C. A., Ghita, G., Brumback, B., Efron, P. A., Mohr, A., Moore, F. A., & Brakenridge, S. C. (2022). Estimated vs measured energy expenditure in ventilated surgical-trauma critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 46(6), 1431-1440. <https://doi.org/10.1002/jpen.2314>
55. Kang, M. C., Kim, J. H., Ryu, S. W., Moon, J. Y., Park, J. H., Park, J. K., Park, J. H., Baik, H. W., Seo, J. M., Son, M. W., Song, G. A., Shin, D. W., Shin, Y. M., Ahn, H. Y., Yang, H. K., Yu, H. C., Yun, I. J., Lee, J. G., Lee, J. M., Lee, J. H., Lee, T. H., Yim, H., Jeon, H. J., Jung, K., Jung, M. R., Jeong, C. Y., Lim, H. S., & Hong, S. K. (2018). Prevalence of Malnutrition in Hospitalized Patients: a Multicenter Cross-sectional Study. *J Korean Med Sci*, 33(2), e10. <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e10>
56. Karlsen, M. W., Heyn, L. G., & Heggdal, K. (2024). Being a patient in the intensive care unit: a narrative approach to understanding patients' experiences of being awake and on mechanical ventilation. *Int J Qual Stud Health Well-being*, 19(1), 2322174. <https://doi.org/10.1080/17482631.2024.2322174>
57. Kaviani, S., Schoeller, D. A., Ravussin, E., Melanson, E. L., Henes, S. T., Dugas, L. R., Dechert, R. E., Mitri, G., Schoffelen, P. F. M., Gubbels,

- P., Tornberg, A., Garland, S., Akkermans, M., & Cooper, J. A. (2018). Determining the Accuracy and Reliability of Indirect Calorimeters Utilizing the Methanol Combustion Technique. *Nutr Clin Pract*, 33(2), 206-216. <https://doi.org/10.1002/ncp.10070>
58. Koekkoek, W. A. C., Xiaochen, G., van Dijk, D., & van Zanten, A. R. H. (2020). Resting energy expenditure by indirect calorimetry versus the ventilator-VCO(2) derived method in critically ill patients: The DREAM-VCO(2) prospective comparative study. *Clin Nutr ESPEN*, 39, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.07.005>
 59. Lakenman, P. L. M., van der Hoven, B., Schuijs, J. M., Eveleens, R. D., van Bommel, J., Olieman, J. F., & Joosten, K. F. M. (2021). Energy expenditure and feeding practices and tolerance during the acute and late phase of critically ill COVID-19 patients. *Clin Nutr ESPEN*, 43, 383-389. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.03.019>
 60. Lakenman, P. L. M., van der Hoven, B., van Bommel, J., Olieman, J. F., & Joosten, K. F. M. (2024). The usefulness of a new indirect calorimeter in critically ill adult patients. *Clin Nutr*, 43(10), 2267-2272. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.07.048>
 61. Lane, C., Wedlake, L. J., Dougherty, L., & Shaw, C. (2014). Attitudes towards and knowledge of nutrition support amongst health care professionals on London intensive care units. *J Hum Nutr Diet*, 27 Suppl 2, 339-351. <https://doi.org/10.1111/jhn.12152>
 62. Londoño-Londoño, L. M., Montoya-Bernal, Á. P., Arango, F., Escobar-Serna, J. F., Florián Pérez, M. C., & Trejos-Gallego, D. (2024). Concordancia entre la calorimetría indirecta y las ecuaciones predictivas para estimar gasto energético en reposo. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 7(1), 23-32. <https://doi.org/10.35454/rncm.v7n1.496>
 63. López-Villegas, A., Gómez-González, M. N., & González-Carrillo, P. L. (2023). [Correlation of equations for energy expenditure with indirect calorimetry in critically ill patients]. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, 61(Suppl 2), S246-s253. (Correlación de fórmulas para gasto energético con calorimetría indirecta en pacientes críticos.)
 64. Louwaeghe, H., Boeykens, K., De Waele, E., Beeckman, D., & Torsy, T. (2025). Metabolic rate and energy requirements by indirect calorimetry versus predictive formulas in mechanically ventilated patients on full very

- high protein-to-energy polymeric formula: A retrospective study. *Clin Nutr ESPEN*, 69, 188-195. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2025.07.012>
65. Lyons, G. C. E., Summers, M. J., Marshall, A. P., & Chapple, L. S. (2022). Systematic review of clinicians' knowledge, attitudes, and beliefs about nutrition in intensive care. *Nutr Clin Pract*, 37(4), 825-842. <https://doi.org/10.1002/ncp.10785>
 66. Marshall, A. P., Ridley, E. J., & Chapple, L. S. (2025). Engaging family members in nutrition care during recovery from critical illness. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 28(2), 167-173. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000001100>
 67. Marshall, A. P., Van Scoy, L. J., Chaboyer, W., Chew, M., Davidson, J., Day, A. G., Martinez, A., Patel, J., Roberts, S., Skrobik, Y., Taylor, B., Tobiano, G., & Heyland, D. K. (2023). A randomised controlled trial of a nutrition and a decision support intervention to enable partnerships with families of critically ill patients. *J Clin Nurs*, 32(17-18), 6723-6742. <https://doi.org/10.1111/jocn.16752>
 68. Martindale, R., Patel, J. J., Taylor, B., Arabi, Y. M., Warren, M., & McClave, S. A. (2020). Nutrition Therapy in Critically Ill Patients With Coronavirus Disease 2019. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 44(7), 1174-1184. <https://doi.org/10.1002/jpen.1930>
 69. Matejovic, M., Huet, O., Dams, K., Elke, G., Vaquerizo Alonso, C., Csomos, A., Krzych Ł, J., Tetamo, R., Puthuchear, Z., Rooyackers, O., Tjäder, I., Kuechenhoff, H., Hartl, W. H., & Hiesmayr, M. (2022). Medical nutrition therapy and clinical outcomes in critically ill adults: a European multinational, prospective observational cohort study (EuroPN). *Crit Care*, 26(1), 143. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-03997-z>
 70. Matute, A., Camón, A. M., Ocabo, P., & Herrero, T. (2022). Nutrición enteral en el paciente crítico. *Revista Electrónica de PortalesMedicos.com*, XVII(14).
 71. McClave, S. A., & Omer, E. (2021). Point-Counterpoint: Indirect Calorimetry Is not Necessary for Optimal Nutrition Therapy in Critical Illness. *Nutr Clin Pract*, 36(2), 268-274. <https://doi.org/10.1002/ncp.10657>
 72. McClave, S. A., Spain, D. A., Skolnick, J. L., Lowen, C. C., Kieber, M. J., Wickerham, P. S., Vogt, J. R., & Looney, S. W. (2003).

- Achievement of steady state optimizes results when performing indirect calorimetry. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 27(1), 16-20. <https://doi.org/10.1177/014860710302700116>
73. McClave, S. A., Taylor, B. E., Martindale, R. G., Warren, M. M., Johnson, D. R., Braunschweig, C., McCarthy, M. S., Davanos, E., Rice, T. W., Cresci, G. A., Gervasio, J. M., Sacks, G. S., Roberts, P. R., & Compher, C. (2016). Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 40(2), 159-211. <https://doi.org/10.1177/0148607115621863>
 74. Merriweather, J. L., Salisbury, L. G., Walsh, T. S., & Smith, P. (2016). Nutritional care after critical illness: a qualitative study of patients' experiences. *J Hum Nutr Diet*, 29(2), 127-136. <https://doi.org/10.1111/jhn.12287>
 75. Mifflin, M. D., St Jeor, S. T., Hill, L. A., Scott, B. J., Daugherty, S. A., & Koh, Y. O. (1990). A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51(2), 241-247. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>
 76. Moonen, H., Beckers, K. J. H., & van Zanten, A. R. H. (2021). Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. *J Intensive Care*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40560-021-00524-0>
 77. Morbitzer, K. A., Wilson, W. S., Chaben, A. C., Darby, A., Dehne, K. A., Brown, E. R., Rhoney, D. H., & Jordan, J. D. (2019). Energy Expenditure in Critically Ill Adult Patients With Acute Brain Injury: Indirect Calorimetry vs. Predictive Equations. *Front Neurol*, 10, 1426. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01426>
 78. Morris, R. J. (1972). Lavoisier and the caloric theory. *Brit History Sci*, 6, 1-38.
 79. Mtaweh, H., Soto Aguero, M. J., Campbell, M., Allard, J. P., Pencharz, P., Pullenayegum, E., & Parshuram, C. S. (2019). Systematic review of factors associated with energy expenditure in the critically ill. *Clin Nutr ESPEN*, 33, 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.06.009>

80. Mtaweh, H., Tuira, L., Floh, A. A., & Parshuram, C. S. (2018). Indirect Calorimetry: History, Technology, and Application. *Front Pediatr*, 6, 257. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00257>
81. Murray, G., Thomas, S., Dunlea, T., Jimenez, A. N., Eiferman, D., Nahikian-Nelms, M., & Roberts, K. M. (2023). Comparison of predictive equations and indirect calorimetry in critical care: Does the accuracy differ by body mass index classification? *Nutr Clin Pract*, 38(5), 1124-1132. <https://doi.org/10.1002/ncp.11017>
82. Muscaritoli, M., Arends, J., Bachmann, P., Baracos, V., Barthelemy, N., Bertz, H., Bozzetti, F., Hütterer, E., Isenring, E., Kaasa, S., Krznaric, Z., Laird, B., Larsson, M., Laviano, A., Mühlebach, S., Oldervoll, L., Ravasco, P., Solheim, T. S., Strasser, F., de van der Schueren, M., Preiser, J. C., & Bischoff, S. C. (2021). ESPEN practical guideline: Clinical Nutrition in cancer. *Clin Nutr*, 40(5), 2898-2913. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.02.005>
83. Nakamura, K., Yamamoto, R., Higashibeppu, N., Yoshida, M., Tatsumi, H., Shimizu, Y., Izumino, H., Oshima, T., Hatakeyama, J., Ouchi, A., Tsutsumi, R., Tsuboi, N., Yamamoto, N., Nozaki, A., Asami, S., Takatani, Y., Yamada, K., Matsuishi, Y., Takauji, S., Tampo, A., Terasaka, Y., Sato, T., Okamoto, S., Sakuramoto, H., Miyagi, T., Aki, K., Ota, H., Watanabe, T., Nakanishi, N., Ohbe, H., Narita, C., Takeshita, J., Sagawa, M., Tsunemitsu, T., Matsushima, S., Kobashi, D., Yanagita, Y., Watanabe, S., Murata, H., Taguchi, A., Hiramoto, T., Ichimaru, S., Takeuchi, M., & Kotani, J. (2025). The Japanese Critical Care Nutrition Guideline 2024. *J Intensive Care*, 13(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40560-025-00785-z>
84. Niederer, L. E., Miller, H., Haines, K. L., Molinger, J., Whittle, J., MacLeod, D. B., McClave, S. A., & Wischmeyer, P. E. (2021). Prolonged progressive hypermetabolism during COVID-19 hospitalization undetected by common predictive energy equations. *Clinical Nutrition ESPEN*, 45, 341-350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.07.021>
85. Occhiali, E., Urli, M., Pressat-Laffouilhère, T., Achamrah, N., Veber, B., & Clavier, T. (2022). Dynamic metabolic changes measured by indirect calorimetry during the early phase of septic shock: a prospective observational pilot study. *Eur J Clin Nutr*, 76(5), 693-697. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-01012-2>
86. Oshima, T., Berger, M. M., De Waele, E., Guttormsen, A. B., Heidegger, C. P., Hiesmayr, M., Singer, P., Wernerman, J., & Pichard, C. (2017).

- Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clin Nutr*, 36(3), 651-662. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.06.010>
87. Oshima, T., Delsoglio, M., Dupertuis, Y. M., Singer, P., De Waele, E., Veraar, C., Heidegger, C. P., Wernermann, J., Wischmeyer, P. E., Berger, M. M., & Pichard, C. (2020). The clinical evaluation of the new indirect calorimeter developed by the ICALIC project. *Clin Nutr*, 39(10), 3105-3111. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.01.017>
 88. Oshima, T., Dupertuis, Y. M., Delsoglio, M., Graf, S., Heidegger, C. P., & Pichard, C. (2019). In vitro validation of indirect calorimetry device developed for the ICALIC project against mass spectrometry. *Clin Nutr ESPEN*, 32, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.05.004>
 89. Parra-Carriedo, A., Cherem-Cherem, L., Galindo-De Noriega, D., Díaz-Gutiérrez, M. C., Pérez-Lizaur, A. B., & Hernández-Guerrero, C. (2013). Comparación del gasto energético en reposo determinado mediante calorimetría indirecta y estimado mediante fórmulas predictivas en mujeres con grados de obesidad I a III. *Nutrición Hospitalaria*, 28, 357-364. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013000200013&nrm=iso
 90. Pelekhaty, S., Rozenberg, K., & Kozar, R. (2025). Indirect calorimetry in traumatically injured patients: A descriptive cohort study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 49(4), 488-496. <https://doi.org/10.1002/jpen.2745>
 91. Persenius, M. W., Hall-Lord, M. L., & Wilde-Larsson, B. (2009). Grasping the nutritional situation: a grounded theory study of patients' experiences in intensive care. *Nurs Crit Care*, 14(4), 166-174. <https://doi.org/10.1111/j.1478-5153.2009.00331.x>
 92. Pertzov, B., Bar-Yoseph, H., Menndel, Y., Bendavid, I., Kagan, I., Glass, Y. D., & Singer, P. (2022). The effect of indirect calorimetry guided isocaloric nutrition on mortality in critically ill patients-a systematic review and meta-analysis. *Eur J Clin Nutr*, 76(1), 5-15. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00919-0>
 93. Preiser, J. C., van Zanten, A. R., Berger, M. M., Biolo, G., Casaer, M. P., Doig, G. S., Griffiths, R. D., Heyland, D. K., Hiesmayr, M., Iapichino, G., Laviano, A., Pichard, C., Singer, P., Van den Berghe, G., Wernerman, J., Wischmeyer, P., & Vincent, J. L. (2015). Metabolic and nutritional support

- of critically ill patients: consensus and controversies. *Crit Care*, 19(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0737-8>
94. Purcell, S. A., Elliott, S. A., Ryan, A. M., Sawyer, M. B., & Prado, C. M. (2019). Accuracy of a Portable Indirect Calorimeter for Measuring Resting Energy Expenditure in Individuals With Cancer. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 43(1), 145-151. <https://doi.org/10.1002/jpen.1310>
 95. Quenot, J. P., Ecarnot, F., Meunier-Beillard, N., Dargent, A., Large, A., Andreu, P., & Rigaud, J. P. (2017). What are the ethical issues in relation to the role of the family in intensive care? *Ann Transl Med*, 5(Suppl 4), S40. <https://doi.org/10.21037/atm.2017.04.44>
 96. Rattanachaiwong, S., & Singer, P. (2019). Indirect calorimetry as point of care testing. *Clin Nutr*, 38(6), 2531-2544. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.12.035>
 97. Reid, C. L. (2007). Poor agreement between continuous measurements of energy expenditure and routinely used prediction equations in intensive care unit patients. *Clin Nutr*, 26(5), 649-657. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2007.02.003>
 98. Reignier, J., Gaillard-Le Roux, B., Dequin, P. F., Bertoni Maluf, V. A., Bohe, J., Casaer, M. P., Delbove, A., Dupuis, C., Fontaine, E., Gamon, P., Grange, C., Heming, N., Jezequel, M., Jirka, A., Jotterand Chaparro, C., Landais, M., Letouze, N., Morice, C., Pantet, O., Pellecer, J., Piton, G., Rooze, S., Starck, J., Tadie, J.-M., Tamion, F., Thibault, R., Valla, F., Vanderlinden, T., Thille, A. W., & Aissaoui, N. (2025). Expert consensus-based clinical practice guidelines for nutritional support in the intensive care unit: the French Intensive Care Society (SRLF) and the French-Speaking Group of Pediatric Emergency Physicians and Intensivists (GFRUP). *Annals of Intensive Care*, 15(1), 99. <https://doi.org/10.1186/s13613-025-01509-0>
 99. Reignier, J., Rice, T. W., Arabi, Y. M., & Casaer, M. (2025). Nutritional Support in the ICU. *Bmj*, 388, e077979. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-077979>
 100. Rousseau, A. F., Fadeur, M., Colson, C., & Misset, B. (2022). Measured Energy Expenditure Using Indirect Calorimetry in Post-Intensive Care Unit Hospitalized Survivors: A Comparison with Predictive Equations. *Nutrients*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/nu14193981>

101. Rousseau, A. F., Fadeur, M., Fauville, J. P., Hans, N., Martin, F., & Misset, B. (2024). Determination of energy requirements after minor burns using indirect calorimetry: A descriptive cohort study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 48(3), 284-290. <https://doi.org/10.1002/jpen.2614>
102. Roxberg, Å., Tryselius, K., Gren, M., Lindahl, B., Werkander Harstäde, C., Silverglow, A., Nolbeck, K., James, F., Carlsson, I. M., Olausson, S., Nordin, S., & Wijk, H. (2020). Space and place for health and care. *Int J Qual Stud Health Well-being*, 15(sup1), 1750263. <https://doi.org/10.1080/17482631.2020.1750263>
103. Sabatino, A., Fiaccadori, E., Barazzoni, R., Carrero, J. J., Cupisti, A., De Waele, E., Jonckheer, J., Cuerda, C., & Bischoff, S. C. (2024). ESPEN practical guideline on clinical nutrition in hospitalized patients with acute or chronic kidney disease. *Clin Nutr*, 43(9), 2238-2254. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.08.002>
104. Scheer, A., Denhof, M., Kaltwasser, A., Kortgen, M., Mason, S., Pelz, S., & Nydahl, P. (2025). Certification of a Family-Friendly Intensive Care Unit-Families Are Always Welcome! *Nurs Crit Care*, 30(4), e70074. <https://doi.org/10.1111/nicc.70074>
105. Schoeller, D. A. (2007). Making indirect calorimetry a gold standard for predicting energy requirements for institutionalized patients. *J Am Diet Assoc*, 107(3), 390-392. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.01.030>
106. Schuetz, P., Fehr, R., Baechli, V., Geiser, M., Deiss, M., Gomes, F., Kutz, A., Tribolet, P., Bregenzer, T., Braun, N., Hoess, C., Pavlicek, V., Schmid, S., Bilz, S., Sigrist, S., Brandle, M., Benz, C., Henzen, C., Mattmann, S., Thomann, R., Brand, C., Rutishauser, J., Aujesky, D., Rodondi, N., Donze, J., Stanga, Z., & Mueller, B. (2019). Individualised nutritional support in medical inpatients at nutritional risk: a randomised clinical trial. *Lancet*, 393(10188), 2312-2321. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32776-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32776-4)
107. Singer, P., Anbar, R., Cohen, J., Shapiro, H., Shalita-Chesner, M., Lev, S., Grozovski, E., Theilla, M., Frishman, S., & Madar, Z. (2011). The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill patients. *Intensive Care Med*, 37(4), 601-609. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2146-z>
108. Singer, P., Blaser, A. R., Berger, M. M., Alhazzani, W., Calder, P. C., Casaer, M. P., Hiesmayr, M., Mayer, K., Montejo, J. C., Pichard, C., Preiser, J. C., van Zanten, A. R. H., Oczkowski, S., Szczeklik, W., & Bischoff, S. C.

- (2019). ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr*, 38(1), 48-79. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.08.037>
109. Singer, P., Blaser, A. R., Berger, M. M., Calder, P. C., Casaer, M., Hiesmayr, M., Mayer, K., Montejo-Gonzalez, J. C., Pichard, C., Preiser, J. C., Szczeklik, W., van Zanten, A. R. H., & Bischoff, S. C. (2023). ESPEN practical and partially revised guideline: Clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr*, 42(9), 1671-1689. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2023.07.011>
110. Singer, P., De Waele, E., Sanchez, C., Ruiz Santana, S., Montejo, J. C., Laterre, P. F., Soroksky, A., Moscovici, E., & Kagan, I. (2021). TICACOS international: A multi-center, randomized, prospective controlled study comparing tight calorie control versus Liberal calorie administration study. *Clin Nutr*, 40(2), 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.05.024>
111. Singer, P., Pichard, C., & De Waele, E. (2020). Practical guidance for the use of indirect calorimetry during COVID 19 pandemic. *Clin Nutr Exp*, 33, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.yclnex.2020.07.002>
112. Stephens, K. R., & Busch, R. A. (2025). Practical implications of “personalized nutrition therapy”. *Curr Opin Crit Care*, 31(4), 393-400. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000001287>
113. Stoian, M., Andone, A., Bândilă, S. R., Onișor, D., Babă, D. F., Niculescu, R., Stoian, A., & Azamfirei, L. (2025). Personalized Nutrition Strategies for Patients in the Intensive Care Unit: A Narrative Review on the Future of Critical Care Nutrition. *Nutrients*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/nu17101659>
114. Sundström, M., Tjäder, I., Rooyackers, O., & Wernerman, J. (2013). Indirect calorimetry in mechanically ventilated patients. A systematic comparison of three instruments. *Clin Nutr*, 32(1), 118-121. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2012.06.004>
115. Sundström Rehal, M., & Rooyackers, O. (2025). A longitudinal investigation of Energy exPenditure and substrate utilization In Critically ill patients (EPIC): a prospective observational multicenter study. . *Clinicaltrials.gov Identifier: NCT05124860*
116. Sundström Rehal, M., Tatucu-Babet, O. A., & Oosterveld, T. (2023). Indirect calorimetry: should it be part of routine care or only used in specific situations? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 26(2), 154-159. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000000895>

117. Taboni, A., Vinetti, G., Piva, S., Gorghelli, G., Ferretti, G., & Fagoni, N. (2023). Comparison of resting energy expenditure measured with metabolic cart and calculated with predictive formulas in critically ill patients on mechanical ventilation. *Respir Physiol Neurobiol*, 311, 104025. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2023.104025>
118. Tatuco-Babet, O. A., Diehl, A., Kratzing, C., Lambell, K., Burrell, A., Tierney, A., Nyulasi, I., Bailey, M., Sheldrake, J., & Ridley, E. J. (2023). Modified indirect calorimetry for patients on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: a pilot feasibility study. *Eur J Clin Nutr*, 77(9), 888-894. <https://doi.org/10.1038/s41430-023-01291-x>
119. Tatuco-Babet, O. A., Fetterplace, K., Lambell, K., Miller, E., Deane, A. M., & Ridley, E. J. (2020). Is Energy Delivery Guided by Indirect Calorimetry Associated With Improved Clinical Outcomes in Critically Ill Patients? A Systematic Review and Meta-analysis. *Nutr Metab Insights*, 13, 1178638820903295. <https://doi.org/10.1177/1178638820903295>
120. Tatuco-Babet, O. A., Nguyen, L., & Ridley, E. J. (2025). Availability and use of indirect calorimetry in adult Australian and New Zealand intensive care units: A report using data from an observational study of nutrition practices. *Aust Crit Care*, 38(5), 101270. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2025.101270>
121. Tatuco-Babet, O. A., & Ridley, E. J. (2022). How much underfeeding can the critically ill adult patient tolerate? *J Intensive Med*, 2(2), 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jointm.2022.01.002>
122. Tatuco-Babet, O. A., Ridley, E. J., & Tierney, A. C. (2016). Prevalence of Underprescription or Overprescription of Energy Needs in Critically Ill Mechanically Ventilated Adults as Determined by Indirect Calorimetry: A Systematic Literature Review. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 40(2), 212-225. <https://doi.org/10.1177/0148607114567898>
123. Tissot, S., Delafosse, B., Bertrand, O., Bouffard, Y., Viale, J. P., & Annat, G. (1995). Clinical validation of the Deltatrac monitoring system in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med*, 21(2), 149-153. <https://doi.org/10.1007/bf01726538>
124. Toledo-Chávarri, A., Gagnon, M. P., Álvarez-Pérez, Y., Perestelo-Pérez, L., Triñanes Pego, Y., & Serrano Aguilar, P. (2020). Development of a decisional flowchart for meaningful patient involvement in Health

Technology Assessment. *Int J Technol Assess Health Care*, 37, e3. <https://doi.org/10.1017/s0266462320001956>

125. van Zanten, A. R. H., De Waele, E., & Wischmeyer, P. E. (2019). Nutrition therapy and critical illness: practical guidance for the ICU, post-ICU, and long-term convalescence phases. *Crit Care*, 23(1), 368. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2657-5>
126. Vaquerizo Alonso, C., Bordejé Laguna, L., Fernández-Ortega, J. F., Bordejé Laguna, M. L., Fernández Ortega, J. F., García de Lorenzo y Mateos, A., Grau Carmona, T., Herrero Meseguer, J. I., Mesejo Arizmendi, A., Montejo González, J. C., Ortiz Leyba, C., Ruiz-Santana, S., Vaquerizo Alonso, C., Acosta Escribano, J. A., Blesa Malpica, A. L., Bonet Sarís, A., Bordejé Laguna, M. L., Cervera Montes, M., de la Fuente O'Connor, E., Alcázar Espín, M. N., Fernández Ortega, J. F., Flordelís Lasiera, J. L., García de Lorenzo y Mateos, A., García Martínez, M. A., Gastaldo Simeón, R. M., Grau Carmona, T., González Iglesias, C., Herrero Meseguer, J. I., Jiménez Jiménez, F. J., Jordá Miñana, A., Juan Díaz, M., León Cinto, C., López Delgado, J. C., Lorenzo Cárdenas, C., Márquez Vácaro, J. A., Martínez Carmona, J. F., Martínez de la Gándara, A., Martínez de Lagrán Zurbano, I., Martínez García, P., Martínez-Lozano Aranaga, F., Martínez Quintana, M. E., Macaya Redín, L., Mateu Campos, M. L., Martín Luengo, A. I., Mesejo Arizmendi, A., Montejo González, J. C., Moreno Clarí, E., Navas Moya, E., Pérez Quesada, S., Portugal Rodríguez, E., Ortiz Leyba, C., Robles González, Á., Ruiz-Santana, S., Sánchez Alonso, S., Sánchez Álvarez, C., Sánchez Miralles, A., Serón Arbeloa, C., Serviá Goixart, L., Vaquerizo Alonso, C., Vila García, B., Valenzuela Sánchez, F., Yébenes Reyes, J. C., & Zamora Elson, M. (2020). Recomendaciones para el tratamiento nutrometabólico especializado del paciente crítico: introducción, metodología y listado de recomendaciones. Grupo de Trabajo de Metabolismo y Nutrición de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC). *Medicina Intensiva*, 44, 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.medin.2020.02.008>
127. Velzeboer, L., Huijboom, M., Weijs, P., Engberink, M., & Kruizenga, H. (2017). Hoe berekenen we de eiwitbehoefte bij ondergewicht en overgewicht?
128. Vera-Carrasco, O. (2022). Los enfermos en estado crítico y las medidas de soporte vital en las unidades de cuidados intensivos. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 63, 76-82. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762022000100011&nrm=iso

129. Vinci, G., Yakovenko, N., De Waele, E., & Stocker, R. (2025). Transition from Enteral to Oral Nutrition in Intensive Care and Post Intensive Care Patients: A Scoping Review. *Nutrients*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/nu17111780>
130. Watanabe, S., Izumino, H., Takatani, Y., Tsutsumi, R., Suzuki, T., Tatsumi, H., Yamamoto, R., Sato, T., Miyagi, T., Miyajima, I., Nakamura, K., Higashibeppu, N., & Kotani, J. (2024). Effects of Energy Delivery Guided by Indirect Calorimetry in Critically Ill Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/nu16101452>
131. Weissman, C., & Kemper, M. (1995). Metabolic measurements in the critically ill. *Crit Care Clin*, 11(1), 169-197.
132. Whittle, J., Molinger, J., MacLeod, D., Haines, K., & Wischmeyer, P. E. (2020). Persistent hypermetabolism and longitudinal energy expenditure in critically ill patients with COVID-19. *Crit Care*, 24(1), 581. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-03286-7>
133. Wischmeyer, P. E. (2016). Are we creating survivors...or victims in critical care? Delivering targeted nutrition to improve outcomes [Review]. *Current Opinion in Critical Care*, 22(4), 279-284. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000332>
134. Wischmeyer, P. E., Bear, D. E., Berger, M. M., De Waele, E., Gunst, J., McClave, S. A., Prado, C. M., Puthuchery, Z., Ridley, E. J., Van den Berghe, G., & van Zanten, A. R. H. (2023). Personalized nutrition therapy in critical care: 10 expert recommendations. *Crit Care*, 27(1), 261. <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04539-x>
135. Wischmeyer, P. E., Molinger, J., & Haines, K. (2021). Point-Counterpoint: Indirect Calorimetry Is Essential for Optimal Nutrition Therapy in the Intensive Care Unit. *Nutr Clin Pract*, 36(2), 275-281. <https://doi.org/10.1002/ncp.10643>
136. Wu, C., Wang, X., Yu, W., Tian, F., Liu, S., Li, P., Li, J., & Li, N. (2015). Hypermetabolism in the Initial Phase of Intensive Care Is Related to a Poor Outcome in Severe Sepsis Patients. *Ann Nutr Metab*, 66(4), 188-195. <https://doi.org/10.1159/000430848>
137. Zusman, O., Kagan, I., Bendavid, I., Theilla, M., Cohen, J., & Singer, P. (2019). Predictive equations versus measured energy expenditure by

- indirect calorimetry: A retrospective validation. *Clin Nutr*, 38(3), 1206-1210. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.04.020>
138. Zusman, O., Theilla, M., Cohen, J., Kagan, I., Bendavid, I., & Singer, P. (2016). Resting energy expenditure, calorie and protein consumption in critically ill patients: a retrospective cohort study. *Crit Care*, 20(1), 367. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1538-4>

8. Anexos

ANEXO 1. Estrategia de búsqueda

Tabla 9. Estrategia de búsqueda en Medline.

MEDLINE(R) ALL <1946 to April 15, 2025> (a través de Ovid)		
Nº	Query	Resultados
#1	*Calorimetry, Indirect/	651
#2	(metabolic adj1 monitor).ab,kw,ti.	336
#3	(metabolic adj1 cart*).ab,kw,ti.	428
#4	(indirect adj1 calorimetry).ab,kw,ti.	7473
#5	Q-NRG.ab.ti	19
#6	#1 or #2 or #3 or #4 or #5	8253
#7	Critical Care/	63490
#8	*Intensive Care Units/ or *Critical Illness/	50646
#9	#7 or #8	104611
#10	#6 and #9	389

Tabla 10. Estrategia de búsqueda en Embase.

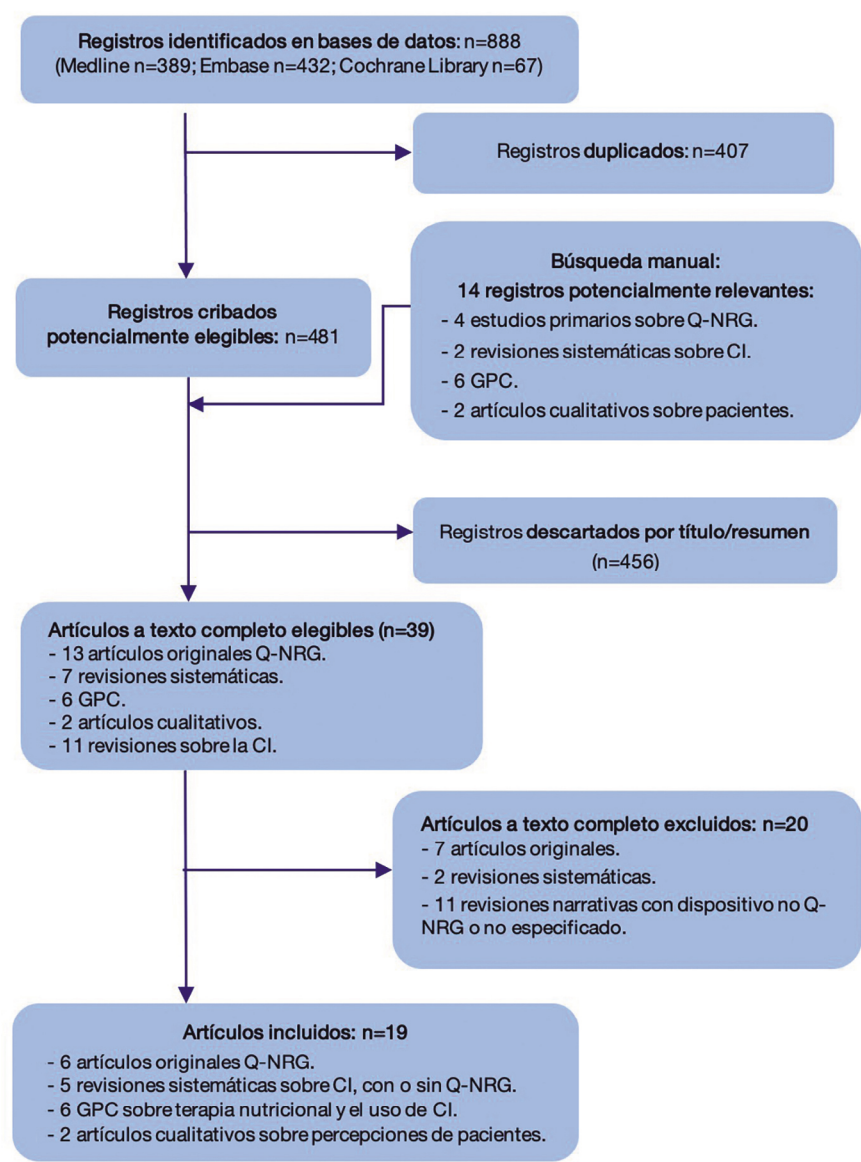
Embase (a través de Ovid). (Fecha realización de la búsqueda: 15/04/2025)		
Nº	Query	Resultados
#1	'intensive care'/mj	78.425
#2	'critical illness'/mj	15.219
#3	'intensive care unit'/mj	50.795
#4	'indirect calorimetry'/mj	442
#5	'metabolic monitoring'	800
#6	'metabolic cart'	612
#7	'indirect calorimeter'	934
#8	'indirect calorimetry'	11.804
#9	'q nrg'	60
#10	#1 OR #2 OR #3	132.444
#11	#4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8	13.504
#12	#10 AND #11	432

Tabla 11. Estrategia de búsqueda en la Cochrane Library.

Cochrane Library (Fecha realización de la búsqueda: 10/04/2025)		
N°	Query	Resultados
#1	(indirect NEAR1 calorimetry):ab,kw,ti	12922
#2	(metabolic NEAR1 cart*):ab,kw,ti	65017
#3	(metabolic NEAR1 monitor):ab,kw,ti	79942
#4	("indirect calorimetry");ti,ab,kw (Word variations have been searched)	2065
#5	MeSH descriptor: [Critical Care] this term only	2626
#6	MeSH descriptor: [Critical Illness] this term only	3747
#7	MeSH descriptor: [Calorimetry, Indirect] this term only	590
#8	#7 OR #4 OR #3 OR #2 OR #1	99182
#9	#5 OR #6	5879
#10	#8 AND #9	402
#11	Q NRG	52
#12	#7 OR #4 OR #1	12922
#13	#12 AND #9	67

ANEXO 2. Algoritmo de selección de estudios

Figura 1. Proceso de selección de estudios.



ANEXO 3. Estudios primarios excluidos

Tabla 12. Estudios primarios excluidos. Motivo de exclusión

Autor, año	Motivo de exclusión
Delsoglio, (Delsoglio et al., 2020).	Se estudia Q-NRG in vitro y en pacientes sanos con respiración espontánea.
Lakenman, (Lakenman et al., 2021).	Pacientes covid-19. Se mide el mREE con Q-NRG+ y se comparan los resultados entre las diferentes fases metabólicas en el paciente crítico. No se compara con otros dispositivos o EP.
Dupertuis, (Dupertuis et al., 2022).	Pacientes hospitalizados o ambulatorios, no críticos en UCI, con respiración espontánea. Comparan Q-NRG con Quark RMR.
Occhiali, (Occhiali et al., 2022).	Se utiliza Q-NRG+ para estudiar la evolución del EE en 34 pacientes en shock séptico en UCI durante la fase aguda. No se compara con otros dispositivos o EP.
Rousseau, (Rousseau et al., 2022).	Se comparan Q-NRG con EP en 55 pacientes supervivientes hospitalizados, pero fuera de la UCI.
Rousseau, (Rousseau et al., 2024)	Se compara Q-NRG con EP en pacientes con quemaduras menores, no críticos.
Fadeur, (Fadeur et al., 2025).	Se compara Q-NRG con Deltatrac II en pacientes sanos.

ANEXO 4. Evaluación de la calidad los estudios incluidos

Dominio	Oshima (Oshima et al., 2020)	Taboni (Taboni et al., 2023)	Niederer (Niederer et al., 2021)
Objetivo del estudio			
1.¿Se indicó claramente la hipótesis / objetivo / objetivo del estudio?	Sí	Sí	Sí
Diseño del estudio			
2.¿Se realizó el estudio prospectivamente?	Sí	Sí	Sí
3.¿Los casos fueron recolectados en más de un centro?	Sí	No	No
4.¿Los pacientes fueron reclutados consecutivamente?	No	No	No
Población de estudio			
5.¿Se describieron las características de los pacientes incluidos en el estudio?	Sí	Sí	Sí
6.¿Fueron claramente establecidos los criterios de elegibilidad (es decir, los criterios de inclusión y exclusión) para ingresar al estudio?	Sí	Sí	Sí
7.¿Los pacientes ingresaron al estudio en un punto similar de la enfermedad?	Sí	Sí	Sí
Intervención y cointervención			
8.¿Se describió claramente la intervención de interés?	Sí	Sí	Sí
9.¿Se describieron claramente intervenciones adicionales (cointervenciones)?	Sí	Sí	Sí
Medida de resultado			
10.¿Se establecieron medidas de resultado relevantes a priori?	Sí	Sí	Sí
11.¿Los evaluadores de resultados estaban cegados a la intervención que recibieron los pacientes?	No	No	No
12.¿Se midieron los resultados relevantes utilizando métodos objetivos / subjetivos apropiados?	Sí	Sí	Sí
13.¿Las medidas de resultado relevantes se tomaron antes y después de la intervención?	NA	NA	NA
Análisis estadístico			
14.¿Fueron apropiadas las pruebas estadísticas utilizadas para evaluar los resultados relevantes?	Sí	Sí	Sí
Resultados y conclusiones			
15.¿El seguimiento fue suficiente para que ocurrieran eventos y resultados importantes?	Sí	Sí	Sí
16.¿Se reportaron pérdidas durante el seguimiento?	No	No	Sí

Dominio	Oshima (Oshima et al., 2020)	Taboni (Taboni et al., 2023)	Niederer (Niederer et al., 2021)
17.¿Proporcionó el estudio estimaciones de variabilidad aleatoria en el análisis de datos de resultados relevantes?	Sí	Sí	Sí
18.¿Se informaron los eventos adversos?	No	No	No
19.¿Las conclusiones del estudio fueron respaldadas por los resultados?	Sí	Sí	Sí
Intereses contrapuestos y fuentes de apoyo			
20.¿Se informaron los intereses en competencia y las fuentes de apoyo para el estudio?	Sí	No	Sí

Dominio	Lakenman (Lakenman et al., 2024)	Pelekhaty (Pelekhaty et al., 2025)	Chung- Sang (Chung et al., 2024)
Objetivo del estudio			
1.¿Se indicó claramente la hipótesis / objetivo / objetivo del estudio?	Sí	Sí	Sí
Diseño del estudio			
2.¿Se realizó el estudio prospectivamente?	Sí	Sí	No
3.¿Los casos fueron recolectados en más de un centro?	No	No	No
4.¿Los pacientes fueron reclutados consecutivamente?	No	No	No
Población de estudio			
5.¿Se describieron las características de los pacientes incluidos en el estudio?	Sí	Sí	Sí
6.¿Fueron claramente establecidos los criterios de elegibilidad (es decir, los criterios de inclusión y exclusión) para ingresar al estudio?	Sí	Parcial	Parcial
7.¿Los pacientes ingresaron al estudio en un punto similar de la enfermedad?	Sí	No	No
Intervención y coinervención			
8.¿Se describió claramente la intervención de interés?	Sí	Sí	Sí
9.¿Se describieron claramente intervenciones adicionales (coinervenciones)?	Sí	Sí	Sí
Medida de resultado			
10.¿Se establecieron medidas de resultado relevantes a priori?	Sí	Sí	Sí
11.¿Los evaluadores de resultados estaban cegados a la intervención que recibieron los pacientes?	No	No	No

Dominio	Lakenman (Lakenman et al., 2024)	Pelekhaty (Pelekhaty et al., 2025)	Chung- Sang (Chung et al., 2024)
12.¿Se midieron los resultados relevantes utilizando métodos objetivos / subjetivos apropiados?	Sí	Sí	Sí
13.¿Las medidas de resultado relevantes se tomaron antes y después de la intervención?	NA	NA	NA
Análisis estadístico			
14.¿Fueron apropiadas las pruebas estadísticas utilizadas para evaluar los resultados relevantes?	Sí	Sí	Sí
Resultados y conclusiones			
15.¿El seguimiento fue suficiente para que ocurrieran eventos y resultados importantes?	Sí	Sí	Sí
16.¿Se reportaron pérdidas durante el seguimiento?	Sí	Sí	No
17.¿Proporcionó el estudio estimaciones de variabilidad aleatoria en el análisis de datos de resultados relevantes?	Sí	Sí	Sí
18.¿Se informaron los eventos adversos?	No	No	No
19.¿Las conclusiones del estudio fueron respaldadas por los resultados?	Sí	Sí	Sí
Intereses contrapuestos y fuentes de apoyo			
20.¿Se informaron los intereses en competencia y las fuentes de apoyo para el estudio?	No	No	No

Respuestas: Sí: 69,30%. No: 28,95%. Parcial/poco claro: 1,75%. NA: no aplicable a estos estudios.

ANEXO 5. Fórmulas de las EP

A continuación, se presentan las fórmulas de las EP más frecuentemente utilizadas en los artículos incluidos en este informe.

Mifflin St. Jeor (MSJ)
Men: $RMR = 10 \times \text{weight} + 6.25 \times \text{height} - 5 \times \text{age} + 5$
Women: $RMR = 10 \times \text{weight} + 6.25 \times \text{height} - 5 \times \text{age} - 161$

Harris Benedict (HB)
Men: $RMR = 66.47 + 13.75 \times \text{weight} + 5.0 \times \text{height} - 6.75 \times \text{age}$
Women: $RMR = 665.09 + 9.56 \times \text{weight} + 1.84 \times \text{height} - 4.67 \times \text{age}$

ASPEN/SCCM
ASPEN/SCCM Lower-End of Range
BMI <30 kg/m²: $RMR = 25 \text{ kcal/kg} \times \text{admission weight}$
BMI 30-50 kg/m²: $RMR = 11 \text{ kcal/kg} / 0.65 = 16.9 \text{ kcal/kg/d} \times \text{admission weight}$
BMI >50 kg/m²: $RMR = 22 \text{ kcal/kg} / 0.65 \times \text{IBW}$
ASPEN/SCCM Upper-End of Range
BMI <30 kg/m²: $RMR = 30 \text{ kcal/kg} \times \text{admission weight}$
BMI 30-50 kg/m²: $RMR = 14 \text{ kcal/kg} / 0.65 = 21.5 \text{ kcal/kg/d} \times \text{admission weight}$
BMI >50 kg/m²: $RMR = 25 \text{ kcal/kg} / 0.65 \times \text{IBW}$

Penn State (PSU)
Penn State 2003 b
 $RMR = MSJ \times 0.96 + V_E \times 31 + T_{max} \times 167 - 6212$
Penn State 2010 (for BMI >30 kg/m² and > 60 years of age)
 $RMR = MSJ \times 0.71 + V_E \times 64 + T_{max} \times 85 - 3085$

Figura 2. Fórmulas de las EP.

ASPEN: American Society of Parenteral and Enteral Nutrition. BMI: índice de masa corporal. IBW: peso corporal ideal (medido por la ecuación de Hamwi). RMR: tasa metabólica en reposo. SCCM: Society of Critical Care Medicine. Tmax: temperatura máxima en las últimas 24 horas (°C). Ve: ventilación por minuto (L/min). La altura se mide en cm; el peso, en kilos; la edad, en años. La ecuación MSJ utiliza el peso corporal real.

ANEXO 6. Características de los estudios incluidos

Autor, año, país	Oshima y cols. (Oshima et al., 2020), Finlandia, Suiza, Suecia, Israel, Austria, Italia, EE.UU. y Bélgica.
Tipo de estudio	Observacional multicéntrico (9 centros), prospectivo, sin enmascaramiento.
Objetivo	Evaluar la facilidad de uso del dispositivo Q-NRG® en pacientes con VM en UCI estudiando el tiempo de duración requerido para la preparación de la CI y para obtener un EE clínicamente relevante. Como objetivo secundario, comparar la fiabilidad de las mediciones del EE del Q-NRG® con la de los otros calorímetros indirectos utilizados en la práctica habitual.
Criterios de inclusión	Adultos con VM invasiva. Entre septiembre de 2017 y julio de 2019.
Criterios de exclusión	Pacientes en condiciones de ventilación críticas (p. ej., $\text{FiO}_2 > 70\%$, $\text{PEEP} > 10$ cm H_2O , presión de ventilación al pico > 30 cm H_2O), fugas de aire del tubo de drenaje torácico, hemodinámica inestable, agitación incontrolada, temperatura corporal inestable y condiciones premórbidas.
Número y características de participantes	277 pacientes de los 6 centros que completaron el número planificado de mediciones válidas. Características de la población y aspectos demográficos, condiciones en UCI y tratamientos recibidos muy variables entre centros.
Condiciones de medición del dispositivo Q-NRG	A todos los investigadores de cada centro se les impartió un curso de capacitación de un día por parte del fabricante sobre el uso de Q-NRG®. Todos contaban con amplia experiencia previa en el manejo de dispositivos de CI. Medidas de resultado para estudiar la facilidad de uso del Q-NRG®: Duración hasta la obtención de una medición válida de CI, definida como el tiempo necesario para completar los procedimientos de preparación del dispositivo y obtener la primera lectura válida tras su encendido (incluidos tiempos de calentamiento, introducción de datos del paciente, calibración del gas y el flujómetro, y conexión al circuito del ventilador). Se permitieron modificaciones de procedimientos básicos para adaptarse a las normas locales de gestión de riesgos, siempre que se ajustaran al manual del usuario del fabricante. Las interrupciones en las mediciones de tiempo se registraron como atención al paciente, mal funcionamiento del CI y otros imprevistos. La duración de la medición del CI fue de un mínimo de 20 y un máximo de 30 minutos, durante los cuales se mantenía una condición de estado estable (definida como un CV del VO_2 y $\text{VCO}_2 \leq 5\%$ para mediciones de 5 min o del 10% para mediciones de 25 min). Las <u>mediciones</u> realizadas con Q-NRG y en los otros calorímetros se realizaron simultáneamente. Se calculó el grado de acuerdo entre los dispositivos. <u>Otras variables</u>: también se registraron los tipos de ventiladores, el modo de ventilación, el modo de sedación, el nivel de conciencia del paciente y la severidad de la enfermedad.
Comparador	Calorímetros indirectos empleados en el estudio: Deltatrac II® (Datex, Finlandia) en Ginebra, Estocolmo, Tel Aviv y Viena; Quark RMR® (Cosmed, Italia) en Lausana; Vmax Encore® (Vyair, California) en Bruselas; y E-COVX® (Datex-Ohmeda, Finlandia) en Chiba.

Autor, año, país	Oshima y cols. (Oshima et al., 2020), Finlandia, Suiza, Suecia, Israel, Austria, Italia, EE.UU. y Bélgica.
Resultados	Tiempo medición EE con los otros calorímetros: 20 ± 5 min. Se esperaba reducir este tiempo en un 20% con el Q-NRG. <u>Tiempo para obtener mediciones EE clínicamente relevantes con Q-NRG® por centros (min, media±DE):</u> $7,5 \pm 1,8$ en Ginebra, $9,0 \pm 2,7$ en Lausana, $5,3 \pm 0,8$ en Bruselas, $10,9 \pm 7,2$ en Tel Aviv, $8,1 \pm 2,1$ en Viena y $5,1 \pm 0,7$ en Chiba. Las diferencias entre centros se deben a diferentes modos de actuación locales. <u>El tiempo de medición de EE con Q-NRG en comparación con los otros calorímetros:</u> diferencia de medias (en min, media $\pm$ SD): Deltatrac® (Ginebra): $-32,3 \pm 2,5$ Deltatrac® (Tel Aviv): $-26,4 \pm 7,8$ Deltatrac® (Viena): $-28,5 \pm 3,5$ QuarkRMR® (Lausana): $-32,3 \pm 3,1$ V-max® (Bruselas): $-33,7 \pm 1,4$ E-COVX®: $-0,2 \pm 1,2$ (Chiba). Tiempo menor de medición con Q-NRG®, que fue significativamente inferior ($p < 0,001$) en comparación con Deltatrac® (en los 3 centros), Quark RMR® (en Lausana) y V-max® (en Bruselas). No se encontraron diferencias en comparación con E-COVX® ($p=0,31$). <u>Comparación entre EE medido con Q-NRG® y EE medido con otros CI:</u> diferencia de medias $\pm$ SD en min. Deltatrac® (Ginebra): $-63,1 \pm 157,8$ kcal. Deltatrac® (Viena): $22,9 \pm 328,2$ kcal. Deltatrac® (Tel Aviv): $307,4 \pm 324,5$ kcal. Quark RMR® (Lausana): $-224,4 \pm 514,9$ kcal. V-max® (Bruselas): $-449,6 \pm 667,4$ kcal. E- COVX® (Chiba): $49,8 \pm 204,1$ kcal. No se encontraron diferencias significativas entre las mediciones de Q-NRG® y las de Deltatrac® en Ginebra y Viena ($p=0,462$ y $p=0,650$, respectivamente), pero sí fueron significativamente diferentes respecto a las de Deltatrac® en el centro de Tel Aviv ($p < 0,001$). También se encontraron diferencias significativas entre las mediciones de Q-NRG® en comparación con Quark RMR® (Lausana) ($p=0,038$) y con V-max® (Bruselas) ($p < 0,001$). No hubo diferencias significativas entre las mediciones de Q-NRG® y las de E-COVX® (Chiba) ($p=0,312$). La diferencia en los <u>límites de acuerdo</u> (según el gráfico de Bland-Altman) fue mayor con el V-max® en Bruselas ($\pm 1.308,1$), seguido del Quark RMR® en Lausana ($\pm 512,9$), y varió entre los centros con el Deltatrac® ($\pm 309,3 \sim \pm 643,3$).

Autor, año, país	Oshima y cols. (Oshima et al., 2020), Finlandia, Suiza, Suecia, Israel, Austria, Italia, EE.UU. y Bélgica.
Conclusiones	Q-NRG® requirió un tiempo menor que la mayoría de calorímetros indirectos para determinar la EE en pacientes de UCI con VM. Y esto se confirmó en diferentes entornos clínicos, instituciones y países. Q-NRG® es el único calorímetro disponible comercialmente que ha sido testado frente a la espectrometría de masa para garantizar resultados de gas más precisos, a la vez que es fácil de usar. Por ambos motivos, se espera un uso más extenso de este dispositivo, que permite la personalización de la prescripción del tratamiento nutricional, limitando el riesgo de una infra o sobrealimentación, ambas relacionadas con un aumento en la morbilidad. Estudios futuros deben centrarse en el momento óptimo para la realización de las mediciones de EE, así como la frecuencia de su repetición a lo largo de la evolución del paciente durante su estancia en UCI.
Conflicto de interés informado	Se informa para cada autor (sin ningún conflicto de intereses, beca de investigación, subvenciones de investigación, honorarios por consultoría, conferencia, etc.).
Financiación	Se informa que el estudio ICALIC ha sido financiado por la <i>European Society of Intensive Care Medicine</i> (Belgium), la <i>European Society for Clinical Nutrition and Metabolism</i> (Luxembourg) y la <i>Foundation Nutrition 2000plus</i> (Switzerland).

Autor, año, país.	Taboni y cols. (Taboni et al., 2023), Italia.
Tipo de estudio	Observacional unicéntrico.
Objetivo	Comparar el mREE de Q-NRG+ (mREE) con el REE predicho por ecuaciones. Estudiar el porcentaje de REE estimado con las ecuaciones que cae dentro del 10%, 15% y 20% del mREE. Evaluar la concordancia del VO_2 y VCO_2 medidos en diferentes FiO_2, de 40% y 60%.
Criterios de inclusión	Pacientes ingresados en UCI en VM, con una estancia prevista en UCI de al menos 48 horas. Se reclutaron pacientes con FiO_2 entre 25-60%.
Criterios de exclusión	Pacientes con PEEP >10 cm H_2O y/o agitación.
Número y características de participantes	27 pacientes. 20 hombres y 7 mujeres, con una edad media 63,9 (SD:16,1) años. IMC medio igual a 27,2 (SD: 5,2). Duración mediana de VM igual a 6 días (IQR: 4-12 días). Estancia mediana en UCI de 9 días (IQR: 5-18).
Condiciones de medición con dispositivo Q-NRG+	Las mediciones se realizaron a una FiO_2 del 40% y del 60%, durante un mínimo de 15 min en cada nivel, administrados en orden aleatorio, con 10 min de descanso antes de realizar la medición. Durante el registro, el paciente se encontraba en condiciones hemodinámicas estables y no se encontraba agitado. Para el análisis se consideraron los valores medios a los 5 min.

Autor, año, país.	Taboni y cols. (Taboni et al., 2023), Italia.
Comparador	La ecuación HB para medir el REE con y sin factor de estrés global de 1,3 (REE-HB y REE-HBsf, respectivamente). REE-W: según un protocolo nutricional desarrollado por el personal médico basado en la guía ASPEN (McClave et al., 2016).
Resultados	<u>Resultados de Q-NRG:</u> No se encontraron diferencias significativas entre las mediciones de VO_2 y VCO_2 realizadas a los diferentes niveles de FiO_2: En FiO_2 40% y 60%, la mediana (IQR (medido como la diferencia entre el tercer cuartil y el primer cuartil) de VO_2 fue de 233,0 (95,2) ml/min y de 217,5 (89,8) ml/min respectivamente (ns), y para VCO_2 fue de 199,0 (91,7) ml/min y 197,5 (85,5) ml/min, respectivamente. El RQ fue de 0,85 (0,23) y 0,89 (0,12) para FiO_2 de 40% y 60%, respectivamente, tampoco fue significativo. mREE a FiO_2 al 40% se midió en 26 pacientes y a FiO_2 al 60% en 23 pacientes. <u>Resultados REE (mediana [IQR]):</u> mREE a una FiO_2=40%: 1.612 [1.494-2.170] kcal/día o 21,1 [18,9-23,5] kcal/día / kg. mREE a una FiO_2=60%: 1.491 [1.322-1.776] kcal/día o 18,7 [16,2-22,3] kcal/día / kg. REE-W: 1.464 [1.164-1.776] kcal/día o 19,7 [14,3-29,1] kcal/día / kg. REE-HB: 1.594 [1.377-1.793] kcal/día o 19,2 [18,6-20,5] kcal/día / kg. REE-HBsf: 2.503,4 [2.156-2.797] kcal/día o 31,0 [29,3-33,7] kcal/día / kg. <u>Correlación entre mREE y REE-ecuaciones (gráfico de Bland-Altman, test de Pitman):</u> Los datos obtenidos de las EP mostraron diferencias significativas en la varianza en comparación al mREE estimado con el Q-NRG, es decir, que no existe correlación entre REE medido y estimado, excepto para dos casos: mREE a FiO_2 de 40% vs REE-W ($p=0,265$), y entre mREE a FiO_2 de 60% vs REE-HBsf normalizado por el peso corporal ($p=0,091$). En el primer caso, la prueba t para una sola muestra no fue significativa y el sesgo no se puede aplicar como factor de corrección: los valores REE de las EP no son comparables a los obtenidos mediante Q-NRG+. En el segundo, la prueba t de una muestra mostró una $p<0,01$. Los valores estimados de REE-HBsf/kg fueron mayores que los estimados por otras ecuaciones y que los medidos con Q-NRG+ (más del 90% de los valores de REE-HBsf/kg fueron mayores que el de mREE a una FiO_2 del 60%). El grado de acuerdo mayor se encontró entre REE-HB normalizado por peso corporal con mREE a una FiO_2 del 40% y FiO_2 del 60%. El sesgo fue de 190,4 kcal para mREE, de 2,19 kcal para el mREE normalizado por el peso corporal y de -0,06 para RQ (test de Pitman, $p>0,05$).

Autor, año, país.	Taboni y cols. (Taboni et al., 2023), Italia.
Conclusiones	El REE estimado mediante las ecuaciones fue significativamente diferente del mREE. El mayor grado de concordancia se observó entre los valores de mREE y los de REE-HB, mientras que la ecuación de H-B corregida sobreestima el REE. Es posible que las diferencias entre mREE y REE-HBsf sean debidas a que el cálculo del REE mediante CI requiere que el paciente esté en VM con cierta sedación. Esta sedación lleva a una reducción de la demanda metabólica cerebral y la VM hace que el metabolismo muscular torácico sea menor, influyendo ambos en el metabolismo basal lo cual lleva a un incremento en la diferencia entre mREE y REE-HBsf. Por esto, los autores consideran que la corrección por factores de estrés podría conducir a importantes errores en pacientes sedados en VM. Q-NRG™+ muestra concordancia en las mediciones de VO_2 y VCO_2 en diferentes niveles de FiO_2 y puede considerarse una herramienta fiable para estimar el EE y evaluar las necesidades nutricionales del paciente. mREE contribuye a prevenir la infra y la sobrealimentación en entornos críticos. En este estudio, la estimación de REE mediante el uso de fórmulas predictivas no permite el cálculo preciso de las demandas metabólicas en pacientes ventilados en la UCI. A pesar de esta limitación de las EP, se reconoce que permiten la rápida determinación del REE y la cantidad de energía derivada de los diferentes sustratos. El uso de Q-NRG+ para evaluar el VO_2 abre nuevas perspectivas en monitorización metabólica y nutricional de pacientes en la UCI.
Conflicto de interés informado	No se informa.
Financiación	No se informa.

Autor, año, país	Niederer y cols. (Niederer et al., 2021), EE.UU.
Tipo de estudio	Cohorte longitudinal prospectiva, unicéntrico. Del 1 de abril de 2020 al 1 de febrero de 2021.
Objetivo	Evaluar longitudinalmente mREE mediante CI en pacientes críticos a lo largo de la estancia en UCI y comparar mREE con el pREE de las EP más utilizadas.
Criterios de inclusión	Adultos críticos con covid-19, que recibían o se esperaba que recibieran VM durante más de 48 horas.
Criterios de exclusión	Pacientes con una duración estimada de la estancia en UCI o supervivencia <24 horas o si disponían de un dispositivo cardíaco implantable (marcapasos, desfibrilador, etc.).

Autor, año, país	Niederer y cols. (Niederer et al., 2021), EE.UU.
Número y características de participantes	38 pacientes. Hombres (61 %), edad mediana 61 años (rango: 25-88), IMC medio $31,8 \pm 1,4 \text{ kg/m}^2$, obesos (IMC $>30 \text{ kg/m}^2$) (58%). Negros (47 %) y no hispanos (71 %). Tiempo de pacientes en VM: $20,3 \pm 2,8$ días. Estancia media en UCI: $25,2 \pm 2,8$ días. Mortalidad: n=12 (32%). Tratamientos covid-19: remdesivir (30 pacientes), insulina (29 pacientes) y esteroides (24 pacientes).
Condiciones de medición del dispositivo Q-NRG. Medidas de resultado.	Exclusión temporal de pacientes para la medición mediante CI en las siguientes condiciones: $\text{FiO}_2 >70\%$, inestabilidad hemodinámica, PEEP $>16 \text{ mmHg}$, oxigenación activa por ECMO o según el criterio clínico del equipo de la UCI. Selección de datos CI en intervalos de 10 a 30 minutos que cumplieron con las condiciones de estado estacionario (definido éste por varianza de VO_2 y $\text{VCO}_2 <10\%$, según los datos de validación publicados para el dispositivo Q-NRG). Se clasificaron los valores recogidos de mREE en 4 periodos de tiempo basados en los días siguientes al inicio de la MV: MV semana 1 (días 1-7), MV semana 2 (días 8-14), MV semana 3 (días 15-21) y MV semanas 4-7 (días 22-49). Semanas 4-7 MV se combinaron para el análisis por presentar menor tamaño muestral. Pacientes con múltiples mediciones de CI se promediaron en intervalos semanales. Las mediciones de CI se recogieron sólo durante el periodo de VM y se excluyeron si durante algunos días cumplían los criterios de exclusión.
Comparador	Ecuaciones pREE (n=4): HB, MSJ, PSU 2003b y PSU 2010, y de las guías ASPEN-SCCM. <u>Cálculos pREE</u> en el día de la medición de CI y se promediaron múltiples valores semanales de pREE. <u>Cálculos pREE</u> de acuerdo con: sexo, edad e IMC del paciente. Para los cálculos siguiendo la guía ASPEN-SCCM se utilizaron los límites superior e inferior de los rangos de las ecuaciones basadas en el peso con el fin de compararlos con el mREE obtenido mediante CI. Se emplea el extremo inferior del rango de estas ecuaciones dada una correlación más cercana con las condiciones a partir de las cuales se calcula pREE en ecuaciones HB y MSJ. Se utiliza el extremo superior del rango para comparar con el mREE derivado de la CI, dada la hipotética respuesta hipermetabólica preliminar en covid-19.

Autor, año, país	Niederer y cols. (Niederer et al., 2021), EE.UU.
Resultados	97 mediciones de CI durante las semanas 1-7 de VM con resultado promedio mREE de $23,2 \pm 1,0$ kcal/kg/d. En el total de pacientes, la media de mREE se incrementó 6,4 kcal/kg/d entre las semanas 1 a 3. La medición media de CI en las semanas 4 a 7 fue de $27,9 \pm 2,1$ kcal/kg/d. mREE en semana 1 de VM relativamente normometabólico o mínimamente hipermetabólico en el 110% de la ecuación de HB pREE, aumentando en un promedio de 6,7 kcal/kg o 122% de la pREE HB en la semana 2 de MV y en 4,9 kcal/kg adicionales en la semana 3 MV: 142% de la ecuación de HB. <u>Comparación grupos obesos - no obesos.</u> En la semana 1 de MV, mREE en pacientes obesos fue significativamente menor que en pacientes no obesos ($19,5 \pm 1,0$ kcal/kg/d frente a $25,1 \pm 1,8$ kcal/kg/d, respectivamente; $p < 0,01$). En las semanas 2 y 3 de MV, mREE de obesos se mantuvo estable en $19,5 \pm 1,5$ kcal/kg, mientras que en no obesos aumentó a $28,0 \pm 2,0$ kcal/kg. Este aumento de las demandas metabólicas en pacientes no obesos se muestra a través de un aumento del 17% en el grado de hipermetabolismo (del 117% al 134% del predicho por la ecuación HB) en comparación con un aumento del 4% en el grupo de pacientes obesos. El pREE predicho mediante las ecuaciones HB, MSJ y el límite inferior del rango ASPEN-SCCM fue significativamente inferior. La ecuación PSU mostró diferencias no significativas y de manera consistente en todas las semanas de VM, lo que ocasionaba un valor predicho superior de necesidades calóricas. Ecuaciones MSJ y HB predijeron a la baja consistentemente el REE promedio en ambos grupos en todas las semanas de VM, mientras que la PSU predijo al alza el REE promedio. Los extremos inferior y superior del rango de las guías ASPEN-SCCM mostraron una predicción insuficiente y excesiva, respectivamente, salvo en las semanas de VM 4-7. Cuando se comparan todas las ecuaciones por semana de VM, el límite inferior del rango de la ASPEN-SCCN en las semanas 1 y 2 es la que presenta la mayor exactitud en la predicción REE sin sobrealimentación, seguida de la ecuación PSU en la semana 3 de VM y el límite superior de la ASPEN-SCCN en las semanas 4-7. Sin tener en cuenta la sobrealimentación, PSU predice REE con mayor exactitud en las semanas 1-2, seguida del límite superior de la ASPEN-SCCN en las semanas 3 y 4-7. Comparando mREE con pREE en los grupos de obesos y no-obesos, las ecuaciones MSJ y HB predicen a la baja de manera constante la media de REE en ambos grupos en todas las semanas de VM mientras que la PSU la predice al alza. ASPEN-SCCM predice a la baja y al alza de manera constante cuando se utiliza el límite inferior y límite superior del rango, respectivamente.

Autor, año, país	Niederer y cols. (Niederer et al., 2021), EE.UU.
Conclusiones	La CI es esencial para evaluar de manera precisa las necesidades energéticas en pacientes covid-19. Los datos reafirman la necesidad de medidas rutinarias y longitudinales de CI dado que pueden cambiar a lo largo del tiempo. La respuesta metabólica de pacientes covid-19 se caracteriza por un hipermetabolismo prolongado y progresivo que alcanza su punto máximo en la semana 3 posterior a la intubación, y persiste hasta 7 semanas en UCI. Este patrón se observó con mayor frecuencia en pacientes no obesos que en obesos. En pacientes con covid-19 las ecuaciones predicen de forma inexacta el REE, por lo que los autores desaconsejan su uso para determinar las necesidades calóricas ya que podrían llevar a una infra-alimentación con los potenciales efectos negativos en los resultados clínicos en estos pacientes. En ausencia de CI, la PSU (desarrolladas específicamente para pacientes en VM) y el límite superior del rango de la ASPEN-SCCM aportarían el valor REE más cercano al mREE en pacientes covid-19 en VM.
Conflicto de interés informado	Sí se informa.
Financiación	Estudio financiado en parte por una beca de Baxter.

Autor, año, país	Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024), Países Bajos.
Tipo de estudio	Observacional prospectivo unicéntrico, entre abril de 2020 y enero de 2022.
Objetivo	Describir la utilidad del nuevo calorímetro Q-NRG+ en pacientes con covid-19 durante su estancia en la UCI. Analizar el grado de acuerdo entre las necesidades energéticas medidas con Q-NRG+ y las previstas por las EP.
Criterios de inclusión	Pacientes adultos con covid-19 ventilados mecánicamente e ingresados en UCI.
Criterios de exclusión	Pacientes cuya enfermedad precisara de una dieta específica o una nutrición parenteral (en domicilio) iniciada 7 días antes del ingreso no relacionado con Covid-19.
Número y características de participantes	146 pacientes (235 observaciones válidas). 104 hombres y 42 mujeres. Edad mediana: 62 (IQR: 52-70). IMC en el momento del ingreso: valor medio de 32 kg/m² (SD ±12). Puntuación mediana APACHE- IV: 18 (IQR: 13-31). Estancia en UCI: mediana de 23 días (IQR: 13-36).

Autor, año, país	Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024), Países Bajos.
Condiciones de medición con dispositivo Q-NRG+	Se recogen las variables relacionadas con el mREE el día que se realiza la CI. Esas variables son las siguientes: temperatura corporal, índice de severidad de la enfermedad (<i>Sequential Organ Failure Assessment</i>, SOFA-score), grado de profundidad de la sedación (RASS-score), proteína C-reactiva, interleukina-6, uso de opiáceos. También se recogen variables relacionadas con el aporte nutricional (energético y proteico) y los parámetros de la VM, posición del paciente durante la VM, PEEP y FiO_2. En relación con la CI, se definió su utilidad por la frecuencia con la que se realizaron las mediciones sin limitaciones clínicas y logísticas. Siguiendo el protocolo nutricional, la CI debe realizarse, si es posible, en la primera semana después del ingreso en UCI, preferiblemente a partir del día 4, y repetirse semanalmente para determinar los requerimientos energéticos subsecuentes del paciente. Las mediciones de CI fueron realizadas por personal entrenado durante un mínimo de 10 minutos en condiciones de estado estable, definido como coeficiente de variación de VO_2 y VCO_2 inferior al 10%. <u>Parámetros recopilados:</u> mREE (kcal/d), RQ, VO_2, VCO_2, duración de las mediciones (minutos), personal clínico que realiza la medición (intensivistas, dietistas en cooperación con profesional de enfermería), aspectos relacionados con contaminación. Se consideran <u>mediciones válidas</u> aquellas en las que hay una variación global <10% en el VO_2 y VCO_2 y rangos RQ entre 0,67 y 1,1. Se recogieron los <u>motivos clínicos para no realizar la CI</u>, que incluyeron inestabilidad hemodinámica, $\text{FIO}_2 > 70\%$, posibles fugas aéreas, cambios en la medicación en la hora previa o durante la medición y ventilación mecánica no-invasiva tras extubación. <u>Motivos logísticos para no realizar mediciones:</u> ausencia de personal, sin dispositivo disponible, sin stock de desechables y aislamiento <i>Staphylococcus aureus resistente a la meticilina</i>. En relación con el suministro nutricional, se administraron pequeñas cantidades de nutrición enteral en las primeras 24-48 h del ingreso en UCI, con un incremento progresivo, de acuerdo a la guía de ESPEN. En caso de contraindicaciones y/o intolerancia a la nutrición enteral durante la primera semana, se consideró la nutrición parenteral. Los requerimientos nutricionales fueron determinados de forma individual por dietistas de UCI empleando mREE o EP cuando no fue posible realizar CI. Los objetivos proteicos se establecieron según la guía ESPEN y en pacientes con $\text{IMC} > 27,5 \text{ kg/m}^2$, se aplicó la fórmula de Gallagher siguiendo la guía dietética holandesa. Se recogieron los datos del aporte nutricional el día de realización de la CI, incluyendo también las calorías no nutricionales como las derivadas del propofol.
Comparador	Cálculo de requerimientos predictivos de energía (pREE) con la fórmula de la OMS o la fórmula HB (en caso de $\text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$) y se compararon con la mREE si se disponía de esta medida ($\text{mREE/pREE} \cdot 100\%$) para explorar el hipometabolismo (<90%) y el hipermetabolismo (>110%).

Autor, año, país	Lakenman y cols. (Lakenman et al., 2024), Países Bajos.
Resultados	CI: Se realizó CI en 180 (42%) de 432 posibles pacientes. En el 58% de pacientes (n=252) no se pudo realizar CI: en un total de 116 pacientes (27%) los motivos para no hacer CI fueron logísticos y en 136 (31%), clínicos. Los problemas fueron más marcados en la segunda semana del ingreso. En los 180 pacientes en quienes se utilizó la CI, se realizaron 276 mediciones, de las que 85% fueron válidas (n=235 en 146 pacientes). Primera medición de CI: día 5 (IQR: 3-7) y la segunda, día 10 (IQR: 8-12). Mediana mREE: en la primera medición, 1.852 kcal/d (IQR: 1.526-2.260) y en la segunda medición, 1.890 kcal/d (IQR: 1.533-2.350). No se observó tendencia significativa en aumento o disminución del mREE. Tiempo promedio de medición: 11 minutos. No se reportaron problemas de contaminación. El 66% de las mediciones las realizaron los intensivistas y el 34% dietistas con profesionales de enfermería. La mayoría de las mediciones válidas (90%) se utilizaron para adaptar el tratamiento nutricional. Aporte nutricional: La mediana de aporte energético administrado aumentó del 82% de la mREE en la primera medición al 95% en la segunda medición. Y el aporte medio de proteínas administradas aumentó del 79% al 94%. Según el mREE, el 53% de pacientes recibieron un aporte energético adecuado (>80% de los requisitos) en la primera medición y 77% en la segunda medición. Y en relación al aporte proteico, estos porcentajes fueron del 49% y 78%, respectivamente. Diferencia media entre mREE válida y pREE fue de 44 kcal (IC del 95%: 11-100) con límites de acuerdo muy variables de 802 a 890. En general, la desviación media entre mREE válida y pREE parecía relativamente baja, pero a nivel individual se observan diferencias sustanciales, tanto positivas como negativas, por lo que las ecuaciones parece que infra y sobre-estiman las necesidades cuantificadas por la CI. Se observó que un incremento en mREE se acompaña de un aumento en las diferencias entre mREE y pREE. ICC entre mREE y pREE fue moderado y aunque significativo, no clínicamente relevante (ICC=0,527; p=<0,001).
Conclusiones	La CI se realizó en menos de la mitad de los pacientes ingresados, demostrando ser útil para guiar el tratamiento nutricional. La técnica mostró fácil aplicación y bajo consumo de tiempo, aunque requiere resolución de cuestiones logísticas y organizativas. El metabolismo de cuerpos cetónicos puede reducir el RQ no proteico por debajo de 0,67, pero no se tuvo en cuenta en este estudio. Valores de PEEP relativamente altos pueden ocasionar resultados inexactos debido a fugas de aire, pero en este estudio, durante la VM se utilizó una cánula de traqueotomía en todos los pacientes para evitar dichas fugas. El estudio confirma la relevancia de medir el REE mediante CI para determinar el aporte nutricional adecuado. Aunque la diferencia media entre el valor medido y el previsto es mínimo en la población global, las diferencias varían considerablemente a nivel individual llegando hasta el 50%.
Conflicto de interés informado	No se declaran.
Financiación	No se declaran.

Autor, año, país	Pelekhaty y cols. (Pelekhaty et al., 2025), EE.UU.
Tipo de estudio	Estudio descriptivo de una de una cohorte de enfermos críticos, incluidos de forma prospectiva entre septiembre de 2023 y junio de 2024. Observacional unicéntrico.
Objetivo	Describir el REE mediante CI y compararlo con el predicho por las EP durante un tiempo.
Criterios de inclusión	Pacientes con traumatismo grave y con VM ingresados en UCI.
Criterios de exclusión	-
Número y características de participantes	117 pacientes (cohorte completa). 94 hombres y 23 mujeres. Edad, mediana (IQR): 43 (28,62). Puntuación de gravedad de la lesión: 26 (20-35). IMC, mediana (IQR): 25,7 (22,5-30,8). <i>Injury severity score</i>, mediana (IQR): 26 (20,35). Por tanto, se trata de una cohorte con daño severo. Mortalidad: 16%. 70% fue dado de alta a domicilio o trasladado a un centro de rehabilitación hospitalaria. Grupo de mayores: edad, mediana (IQR): 72 años (67, 77) Grupo de adolescentes: edad, mediana (IQR): 17 años (17, 17).
Condiciones de medición del dispositivo Q-NRG+	<u>CI</u> Las indicaciones para realizar CI incluyeron edad <20 años o ≥65 años, IMC ≤18,5 o ≥30, amputación de extremidades, traumatismo craneoencefálico, lesión medular aguda y politraumatismo grave (determinado mediante criterio clínico). La CI se pospuso en caso de fracción inspirada de oxígeno >75%, PEEP >16 mm H₂O, fuga de aire significativa en el respirador, extubación programada en las 24 h siguientes, transición a cuidados paliativos o lesión neurológica grave con evaluación de muerte cerebral programada. También se retrasó la CI en casos de inestabilidad clínica. La medición con CI se realizó al menos 30 minutos después de cambios en el soporte ventilatorio y al menos entre 30 y 60 minutos tras procedimientos de estimulación o dolorosos. Mediana del día de realización de la CI: día 6 (IQR: 4, 13) de ingreso en UCI. <u>Tratamiento nutricional</u> Los pacientes fueron evaluados por nutricionista dietista especializado en atención de pacientes con traumatismos en colaboración con el terapeuta respiratorio, en los 3 días posteriores al ingreso en UCI. Se administró nutrición enteral preferentemente, y dentro de las primeras 48 h del ingreso. Si la nutrición enteral estaba contraindicada, se prescribió nutrición parenteral. El tratamiento nutricional, independientemente de la vía de administración, se inició de manera gradual hasta alcanzar el objetivo ajustándose a la tolerancia del paciente, Durante la primera semana de enfermedad crítica se administró entre el 50% y 65% del objetivo calórico considerándose óptimo alcanzar al menos el 80% de los objetivos a partir de ese momento.
Comparador	- Ecuaciones basadas en el peso, utilizando 20, 25 y 30 kcal/kg. - Ecuación de PSU 2003b. - Ecuación de MSJ. - Ecuación de Schofield (sólo en población adolescente). Todas estas EP utilizaron el peso habitual evaluado por el nutricionista dietista.

Autor, año, país	Pelekhaty y cols. (Pelekhaty et al., 2025), EE.UU.																										
Resultados	Se realizaron 163 CI en 117 pacientes: 16 estudios en 9 adolescentes (<19 años) y 31 estudios en 25 adultos mayores de 65 años. <u>Resultados REE medido por CI, mediana (IQR).</u> - Cohorte completa: 1.869 (1.618-2.265) kcal/día o 22,4 (19-26,9) kcal/kg. - En mayores: 1.572 (1.472-2.265) kcal/día o 20,4 (17,9-22,5) kcal/kg. - En adolescentes: 1.799 (1.541-2.255) kcal/día o 27,4 (24,4-29,7) kcal/kg. <u>Resultados REE estimado por las ecuaciones, mediana (IQR).</u> - Cohorte completa: <table><tr><td>20 kcal/kg</td><td>1.640 (1.420-2.132)</td></tr><tr><td>25 kcal/kg</td><td>2.050 (1.775-2.665)</td></tr><tr><td>30 kcal/kg</td><td>2.460 (2.130-3198)</td></tr><tr><td>PSU 2003b</td><td>2.119 (1.893-2.381)</td></tr></table> - En mayores: <table><tr><td>20 kcal/kg</td><td>1.600 (1.400-1.880)</td></tr><tr><td>25 kcal/kg</td><td>2.000 (1.750-2.350)</td></tr><tr><td>30 kcal/kg</td><td>2.400 (2.100-2.820)</td></tr><tr><td>PSU 2003b</td><td>2.089 (1.731-2.341)</td></tr></table> - En adolescentes: <table><tr><td>20 kcal/kg</td><td>1.300 (1.100-1.700)</td></tr><tr><td>25 kcal/kg</td><td>1.625 (1.375-2.125)</td></tr><tr><td>30 kcal/kg</td><td>1.950 (1.650-2.550)</td></tr><tr><td>PSU 2003b</td><td>1.913 (1.690-2.235)</td></tr><tr><td>Schofield</td><td>1.747 (1.647-2.141)</td></tr></table> <u>Comparación entre CI y ecuaciones:</u> <u>En la cohorte completa:</u> las necesidades energéticas predichas difieren de forma significativa de los resultados de la CI. Se subestimaron las necesidades energéticas predichas por la ecuación 20 kcal/kg ($p<0,001$), mientras que en las demás ecuaciones se sobreestimaron estas necesidades ($p<0,001$). La ecuación PSU alcanzó los límites más estrechos de acuerdo con un sesgo bajo, similar a 20 kcal/kg. <u>En adultos mayores:</u> la ecuación con 20 kcal/kg no mostró diferencias significativas con la CI ($p=0,58$), mientras que las demás ecuaciones sobreestimaban esas necesidades, y se encontró una asociación débil entre la energía prescrita y la energía medida ($r = 0,32$, $P < 0,001$). <u>En adolescentes:</u> la dosis estimada en las ecuaciones con 25 kcal/kg y Schofield no mostraron diferencias significativas con CI ($p=0,15$ y $p=0,8$; respectivamente). La ecuación con 30 kcal/kg y PSU 2003b sobreestimaban de forma significativa las necesidades energéticas (más la primera que la de PSU), mientras que la ecuación con 20 kcal/kg las infraestimaba. <u>Concordancia entre la CI y las EP,</u> mediante el gráfico de Bland-Altman para comparar las necesidades energéticas medidas por la CI y las ecuaciones. Ninguna de las ecuaciones aporta resultados similares a la CI: - ecuación con 20 kcal/kg vs CI: diferencias en los resultados, con un sesgo de infraestimación (-180 kcal) para esta ecuación y límites de acuerdo de -1.134 a 774 kcal. - ecuación con 25 kcal/kg vs CI: sesgo de 260,2 kcal y límites de acuerdo de -857,4 a 1.378 kcal. - ecuación con 30 kcal/kg vs CI: sesgo de 700,4 kcal y límites de acuerdo de -607,1 a 2.007,8 kcal. - ecuación PSU 2003b vs CI: sesgo de 520,6 kcal y límites de acuerdo de -143,3 a 1.184,5 kcal. <u>Comparación de la nutrición prescrita.</u> Se encontró una asociación débil pero estadísticamente significativa entre la energía prescrita y la medida ($r=0,32$, $p<0,001$).	20 kcal/kg	1.640 (1.420-2.132)	25 kcal/kg	2.050 (1.775-2.665)	30 kcal/kg	2.460 (2.130-3198)	PSU 2003b	2.119 (1.893-2.381)	20 kcal/kg	1.600 (1.400-1.880)	25 kcal/kg	2.000 (1.750-2.350)	30 kcal/kg	2.400 (2.100-2.820)	PSU 2003b	2.089 (1.731-2.341)	20 kcal/kg	1.300 (1.100-1.700)	25 kcal/kg	1.625 (1.375-2.125)	30 kcal/kg	1.950 (1.650-2.550)	PSU 2003b	1.913 (1.690-2.235)	Schofield	1.747 (1.647-2.141)
20 kcal/kg	1.640 (1.420-2.132)																										
25 kcal/kg	2.050 (1.775-2.665)																										
30 kcal/kg	2.460 (2.130-3198)																										
PSU 2003b	2.119 (1.893-2.381)																										
20 kcal/kg	1.600 (1.400-1.880)																										
25 kcal/kg	2.000 (1.750-2.350)																										
30 kcal/kg	2.400 (2.100-2.820)																										
PSU 2003b	2.089 (1.731-2.341)																										
20 kcal/kg	1.300 (1.100-1.700)																										
25 kcal/kg	1.625 (1.375-2.125)																										
30 kcal/kg	1.950 (1.650-2.550)																										
PSU 2003b	1.913 (1.690-2.235)																										
Schofield	1.747 (1.647-2.141)																										

Autor, año, país	Pelekhaty y cols. (Pelekhaty et al., 2025), EE.UU.
Conclusiones	Las EP utilizadas en pacientes con traumatismos severos no reflejan de manera precisa el REE mostrando un sesgo hacia la sobrealimentación a excepción de la ecuación con 20 kcal/kg, que infraestima el REE. Contrariamente a lo que se pensaba estos pacientes no presentan un estado hipermetabólico. Por ello, la CI continúa siendo el método preferido para determinar las necesidades energéticas de estos pacientes y para monitorizar r estas necesidades a lo largo de la estancia en UCI.
Conflicto de interés informado	No se declaran.
Financiación	No se informa.

Autor, año, país.	Chung-Sang y cols. (Chung et al., 2024), Ecuador.
Tipo de estudio	Observacional retrospectivo, de corte transversal, unicéntrico
Objetivo	Comparar la estimación del EE real mediante CI versus EP y otros.
Criterios de inclusión	Pacientes críticos oncológicos ingresados en UCI, ventilados y no ventilados.
Criterios de exclusión	-
Número y características de participantes	19 adultos. 9 hombres y 10 mujeres, con una edad media de 53,68 ± 15,79 años. IMC= 26,34 ± 4,91. Riesgo nutricional medido por las dos calculadoras: Nutric Score III=3,63 ± 0,90. Nutricional Risk Score 2002 (NRS-2022) =3,05 ± 0,85. Nutrición enteral en el 84% de los pacientes y parenteral en el 16%.
Condiciones de medición del dispositivo Q-NRG+	Los pacientes evaluados cumplieron los requisitos establecidos por el protocolo del fabricante para la obtención de mediciones fiables de CI, es decir, la determinación se realizó a partir de las 48 horas del ingreso en la unidad, en ausencia de dosis elevadas de soporte vasopresor (norepinefrina menor a 0,25 µg/kg/min, dobutamina inferior a 10 µg/kg/min y vasopresina inferior a 4 U/h) y sin requerimientos elevados de oxígeno superior a 50% de fracción inspirada de oxígeno. En pacientes sometidos a ventilación mecánica, la medición de la producción de CO ₂ (VCO ₂) se realizó mediante un sensor de flujo tipo neumotacógrafo previamente calibrado integrado en el equipo, que se coloca entre el sistema de circuito cerrado del paciente y el sistema corrugado del ventilador, acompañado de un filtro específico de vapor de agua. El equipo permite determinar la FIO ₂ mediante una conexión directa con el ventilador mecánico. En los pacientes no ventilados (n=2), el sensor de VCO ₂ se conecta a través del sistema canopy, configurando de manera manual otros parámetros necesarios como la FIO ₂ . Ninguno de estos pacientes recibió suplementación de O ₂ durante la medición. Tiempo de evaluación entre 15-20 min. Se consideraron válidos aquellos pacientes con variabilidades de CO ₂ y O ₂ inferiores al 10% durante toda la evaluación.

Autor, año, país.	Chung-Sang y cols. (Chung et al., 2024), Ecuador.
Comparador	- Ecuación HB; no se utilizó factor de corrección. - RP: se estandarizó como objetivo aportar 30 kcal/kg de peso en pacientes estabilizados a las 48 horas de ingreso a la unidad. En la comparación, se consideró equivalencia si el consumo energético en reposo obtenido por la fórmula versus la CI era de $1 \pm 0,10$; infraestimado si era menor a 0,90 y sobrestimado si lo superaba (mayor a 1,10).
Resultados	La media de REE-CI fue de $1.661,58 \pm 392,79$ kcal, mientras que la estimada por fórmula de HB fue de $1.406,88 \pm 318,36$ kcal y por RP de $2.028,47 \pm 535,63$ kcal. El porcentaje que consideran como equivalente es de 26% y 16% para las fórmulas HB y RP, respectivamente. Hay un 71% de infraestimación por parte de la predicción por HB frente a CI; y un 79% de sobrestimación en la predicción por RP frente a CI. Correlación moderada entre REE-CI y REE-HB: coeficiente de correlación de Pearson de 0,59 y coeficiente de determinación $r^2=0,346$ (indica que el 34,6% de la variabilidad de la determinación del REE por CI es explicado por la variable REE por HB). Correlación moderada a pobre entre REE-CI y REE-RP: coeficiente de Pearson de 0,43 y coeficiente de determinación $r^2=0,188$ (el 18,8% de la variabilidad de la variable REE por CI es explicado por la variable REE predicho por RP).
Conclusiones	La enfermedad crítica requiere un tratamiento nutricional adecuado para prevenir los efectos adversos de la sobrealimentación e infraalimentación. Para determinar las necesidades energéticas se recomienda la CI, que en los últimos años ha conseguido unos resultados más precisos y una aplicación sencilla y rutinaria en pacientes con diversas patologías. Resulta especialmente importante su uso en la fase aguda de la enfermedad crítica, caracterizada por un hipermetabolismo progresivo significativo. Son necesarias mediciones longitudinales repetidas de CI durante la estancia en la UCI para recoger los cambios fisiológicos y optimizar la atención.
Conflicto de interés informado	No se informa.
Financiación	No se informa.

