

# **Evaluación de la calidad de la proteína de la dieta en nutrición humana**

## **Consulta de expertos**

**Incluye los documentos adicionales:**

**-Planteamientos de investigación y métodos para la evaluación de la calidad de la proteína de los alimentos para humanos**

**-Valoración de la digestibilidad de los aminoácidos en alimentos para humanos e inclusión de datos publicados sobre su digestibilidad ileal**

**-Valoración de una serie de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en alimentos para humanos, incluyendo la valoración de su disponibilidad para aplicación práctica.**



Las designaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), así como de la FINUT (Fundación Iberoamericana de Nutrición), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implican que ni la FAO ni la FINUT los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de sus autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAO o de la FINUT.

ISBN: 978-84-697-74731

No. Depósito Legal: 1468-2017

Todos los derechos reservados. La FAO y la FINUT fomentan la reproducción y difusión del material contenido en este informe. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de tarifas. Las solicitudes de autorización para reproducir o difundir material de cuyos derechos de autor sea titular la FAO y toda consulta relativa a derechos y licencias, deberá dirigirse por correo electrónico a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org), o por escrito al Jefe de la Subdivisión de Políticas y Apoyo en materia de Publicaciones, Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia.

FAO 2013 (edición en inglés).

FAO y FINUT 2017 (edición en español).

# Evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en nutrición humana

## Consulta de expertos

31 de Marzo - 2 de Abril, 2011  
Auckland, Nueva Zelanda

Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT)  
Granada, España, 2017

Este documento fue publicado originalmente por la FAO con el título "Dietary protein quality evaluation in human nutrition, FAO Food and Nutrition Paper No. 92". La traducción al español se ha realizado por la FINUT. En caso de eventuales discrepancias, el texto en inglés prevalecerá sobre el español.

ESTUDIO FAO  
ALIMENTACIÓN  
Y NUTRICIÓN

92

# Planteamientos de investigación y métodos para la evaluación de la calidad de la proteína de los alimentos para humanos

Informe de un grupo de expertos

31 de Marzo - 2 de Abril, 2011  
Auckland, Nueva Zelanda

Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT)  
Granada, España, 2017

Este documento fue publicado originalmente por la FAO con el título "Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods". La traducción al español se ha realizado por la FINUT. En caso de eventuales discrepancias, el texto en inglés prevalecerá sobre el español.

## Informe del Sub-Comité de la Consulta FAO 2011 sobre "Evaluación de la Calidad de las Proteínas en Nutrición Humana" sobre:

Valoración de la digestibilidad de los aminoácidos en alimentos para humanos e inclusión de una colección de datos publicados sobre su digestibilidad ileal

### Miembros del Sub-Comité<sup>1</sup>:

Sarwar Gilani (Presidente), Daniel Tomé, Paul Moughan y Barbara Burlingame (de oficio)

<sup>1</sup> El Doctor Shane Rutherford, del Riddet Institute, Massey University, Nueva Zelanda, asistió y colaboró especialmente con la colección de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y fue incluido como coautor del informe del Sub-Comité.

NOTA: los temas expresados en este informe son los del Sub-Comité y no reflejan necesariamente las opiniones (o un consenso) de los miembros de la Consulta de Expertos. El informe es una parte integral del proceso, con el fin de conseguir un consenso global, expresado en el informe final de la Consulta de Expertos FAO 2011.

Primera versión escrita en agosto de 2011. Una versión revisada (como se presenta aquí en la página web) fue escrita y enviada al Sub-Comité presidido por R. Uauy en febrero de 2012. La declaración consensuada del Sub-Comité presidido por el Dr. Uauy de abril de 2012 (referencia [www.fao.org](http://www.fao.org)) se refiere al informe actual revisado.

Este documento fue publicado originalmente en 2012 por la FAO con el título "The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collection of published ileal amino acid digestibility data for human foods". La traducción al español se ha realizado por la FINUT. En caso de eventuales discrepancias el texto en inglés prevalecerá sobre el español.

## Informe del Sub-Comité de la Consulta FAO 2011 sobre "Evaluación de la Calidad de las Proteínas en Nutrición Humana" sobre:

Valoración de una serie de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos de alimentos para humanos (preparada por un Sub-Comité presidido por el Dr. Sarwar Gilani), incluyendo la valoración de su disponibilidad para su aplicación práctica en el cálculo de los valores de los DIAAS y las implicaciones de estos datos en el informe final de la Consulta.

### Miembros del Sub-Comité:

Ricardo Uauy (presidente), Joe Millward, Paul Pencharz, Malcolm Fuller y Barbara Burlingame (ex officio)

NOTA: los temas expresados en este informe son los del Sub-Comité y no reflejan necesariamente las opiniones (o un consenso) de los miembros de la Consulta de Expertos. El informe es una parte integral del proceso, para conseguir un consenso global, expresado en el informe final de la Consulta de Expertos FAO 2011.

Este documento fue publicado originalmente en 2012 por la FAO con el título "Assessing a data set on true ileal amino acid digestibility of foods for humans (prepared by a Sub-Committee chaired by Dr. Sarwar Gilani), including assessing its suitability for practical application in the calculation of DIAAS values and the implications of these data for the final Consultation report". La traducción al español se ha realizado por la FINUT. En caso de eventuales discrepancias el texto en inglés prevalecerá sobre el español.



# Evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en nutrición humana Consulta de expertos

31 de Marzo - 2 de Abril, 2011  
*Auckland, Nueva Zelanda*

Publicado por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura  
(FAO) y la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT)  
Granada, España, 2017



# Agradecimientos

---

El comité desea agradecer a la Dra Shane Rutherford del Riddet Institute, Massey University, Nueva Zelanda por facilitar los datos de datos en relación a los modelos de cálculo de los DIAAS, y a la Dra Joyce Boye del Agriculture and Agri-Food Canada, por proporcionar los ejemplos de cálculos de los DIAAS detallados en la sección IV (2) de este informe.

Queremos agradecer también a la señora Terri Palmer del Riddet Institute, Massey University, su labor como secretaria.



# Tabla de contenidos

Agradecimientos	iii
Acrónimos	ix
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. RESUMEN DE LOS HALLAZGOS CLAVE DE LA CONSULTA DE EXPERTOS DE LA FAO 2011 SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS EN NUTRICIÓN HUMANA</b>	<b>3</b>
<b>2.1. HALLAZGOS CLAVE</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES DE LA CONSULTA</b>	<b>7</b>
<b>3.1. PRINCIPALES REVISIONES CIENTÍFICAS SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS</b>	<b>7</b>
- Introducción	7
<b>3.2. CONFERENCIA DE AIRLEE (1981)</b>	<b>8</b>
<b>3.3. DELIBERACIONES DEL COMITÉ DEL CODEX SOBRE PROTEÍNAS VEGETALES EN RELACIÓN A LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS (1982-1989)</b>	<b>8</b>
<b>3.4. CONSULTA CONJUNTA DE EXPERTOS FAO/WHO SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS (1989)</b>	<b>10</b>
- Análisis de los aminoácidos de los alimentos	10
- Requerimientos de aminoácidos y patrón de puntuación	11
- Consideraciones sobre digestibilidad	11
- Recomendaciones globales de la Consulta de Expertos FAO/WHO (publicado en 1991)	12
<b>3.5. CONSULTA DE EXPERTOS FAO/WHO/UNU SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS EN NUTRICIÓN HUMANA (ROMA, 2001; GINEBRA, 2002, PUBLICADO COMO UN INFORME WHO/FAO/UNU EN 2007)</b>	<b>12</b>
- Recomendaciones globales	15
- Consulta FAO 2011	18
<b>CAPÍTULO 4. HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES DE LA CONSULTA DE EXPERTOS FAO 2011 SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS EN NUTRICIÓN HUMANA</b>	<b>19</b>
<b>4.1. SIGNIFICADO Y CONVENIENCIA DE LOS PDCAAS</b>	<b>19</b>

---

EN LA PRÁCTICA Y TRUNCAMIENTO DE LOS PDCAAS	
- Puntuación de aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS)	20
- Aplicaciones prácticas de los DIAAS	21
<b>4.2. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE LOS DIAAS Y EXPRESIÓN DEL CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DIGESTIBLES DE LOS ALIMENTOS</b>	<b>22</b>
- Contenido en aminoácidos digestibles	22
- Cálculo de los DIAAS	22
- Ejemplo de cálculo de los DIAAS para un ingrediente simple de los alimentos	23
- Ejemplo de cálculo de los DIAAS para una mezcla de alimentos	23
<b>4.3. ANTECEDENTES DE LA VALIDEZ DEL PATRÓN DE PUNTUACIÓN DE LOS AMINOÁCIDOS</b>	<b>23</b>
- Definición del patrón de puntuación de aminoácidos indispensables para su uso en el cálculo de los DIAAS desde la infancia hasta la edad adulta	23
- Patrón de la leche materna	27
- Patrón para la edad preescolar, niños mayores y adultos: perspectiva histórica	28
- Cálculo de los patrones de puntuación a partir de los valores de los requerimientos de aminoácidos	30
- Requerimientos óptimos de aminoácidos	31
<b>4.4. CORRECCIÓN POR LA DIGESTIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN EL CÁLCULO DE LOS DIAAS</b>	<b>32</b>
- Biodisponibilidad de los aminoácidos	32
- Digestibilidad de los aminoácidos	33
- Disponibilidad química de los aminoácidos	37
- Pérdida de biodisponibilidad debida a la presencia de sustancias interferentes	38
<b>4.5. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL USO DE BIOENSAYOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA</b>	<b>38</b>
- Utilización postprandial de la proteína (PPU)	39
- Utilización postprandial neta de la proteína (NPPU)	40
- Aplicación del método IAAO (Indicador de la oxidación de aminoácidos) para determinar la disponibilidad metabólica (MA) de los aminoácidos	40
<b>4.6. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE AMINOÁCIDOS Y PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD/BIODISPONIBILIDAD</b>	<b>41</b>

VERDADERA DE LOS AMINOÁCIDOS	
- Metodología para el análisis de aminoácidos	<b>41</b>
- Ensayos de digestibilidad/biodisponibilidad verdadera de los aminoácidos	<b>42</b>
<b>4.7. COMPONENTES BIOACTIVOS ASOCIADOS INTRÍNSECAMENTE A LAS PROTEÍNAS DE LOS ALIMENTOS, INCLUYENDO LOS QUE SE FORMAN DE MANERA NATURAL Y LOS QUE SE FORMAN DURANTE EL PROCESAMIENTO</b>	<b>42</b>
<b>4.8. DIAAS – TEMAS REGLAMENTARIOS</b>	<b>43</b>
<b>4.9. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS</b>	<b>45</b>
- Requerimientos de aminoácidos en la especie humana	<b>45</b>
- Analítica	<b>45</b>
- Digestibilidad ileal	<b>45</b>
- Evaluación y perfeccionamiento de las técnicas para medir directamente la biodisponibilidad de los aminoácidos de la dieta asociados a las proteínas en humanos	<b>46</b>
- Impacto de las interacciones entre los factores bioactivos y la calidad y función de la proteína	<b>46</b>
- Comunicación	<b>47</b>
- Crianza de animales y cultivo de plantas, efecto de la preparación y el procesamiento	<b>47</b>
<b>4.10. NIVEL DE EVIDENCIA USADO EN LA ELABORACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES</b>	<b>47</b>
- Preámbulo	<b>47</b>
- Jerarquía de la evidencia	<b>48</b>
- Nivel de evidencia concerniente a esta consulta	<b>49</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>53</b>
APÉNDICE I: CONSULTA FAO DE EXPERTOS SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA	<b>53</b>
APÉNDICE II: ASISTENCIA A LA CONSULTA DE EXPERTOS SOBRE LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA EN NUTRICIÓN HUMANA	<b>58</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>61</b>

## Lista de tablas

---

TABLA 1. Cálculo del valor de puntuación aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS) para leche entera en polvo ( <i>Whole Milk Powder WMP</i> )	<b>24</b>
TABLA 2. Cálculo del valor de puntuación aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS) para una mezcla de trigo, guisante y leche entera en polvo	<b>25</b>
TABLA 3. Patrones de puntuación de aminoácidos para niños de corta edad, niños, adolescentes y adultos (valores corregidos del informe WHO/FAO/UNU de 2007)	<b>27</b>
TABLA 4. Perfil de aminoácidos dietéticos indispensables de la leche humana	<b>28</b>
TABLA 5. Patrones de puntuación de aminoácidos recomendados para lactantes, niños, niños mayores, adolescentes y adultos	<b>29</b>
TABLA 6. Ejemplo del uso de los DIAAS en la valoración de la calidad de las proteínas para realizar alegaciones nutricionales	<b>44</b>

## Lista de figuras

---

FIGURA 1. Modelo del metabolismo de las proteínas en humanos de la <i>WHO/FAO/UNU</i> (2007)	<b>7</b>
FIGURA 2. Esquema representativo del potencial a corto y largo plazo de la calidad de las proteínas en relación a los resultados sobre la salud. Esto indica la necesidad de buscar más allá de las respuestas fisiológicas y metabólicas al valorar los efectos sobre la salud	<b>26</b>
FIGURA 3. Clasificación de la validez de los niveles de evidencia para establecer los requerimientos de ácidos grasos de la dieta (el grado de validez decrece de izquierda a derecha)	<b>48</b>

## Acrónimos y símbolos

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ( <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> )
WHO	Organización Mundial de la Salud ( <i>World Health Organization</i> )
PDCAAS	Puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína ( <i>Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score</i> )
DIAAS	Puntuación de los aminoácidos indispensables digeribles ( <i>Digestible Indispensable Amino Acid Score</i> )
IAA	Aminoácidos indispensables ( <i>Indispensable Amino Acids</i> )
UNU	Universidad de las Naciones Unidas ( <i>United Nations University</i> )
USDA	Departamento de Agricultura de las Naciones Unidas ( <i>United States Department of Agriculture</i> )
PER	Proporción de eficiencia proteica ( <i>Protein Efficiency Ratio</i> )
RNPR	Método para la valoración de la proporción de proteína neta relativa ( <i>Relative Net Protein Ratio method</i> )
CCVP	Comité del Codex de Proteínas Vegetales ( <i>Codex Committee on Vegetable Proteins</i> )
NPR	Proporción neta de proteína ( <i>Net Protein Ratio</i> )
NPU	Utilización neta de proteína ( <i>Net Protein Utilization</i> )
BV	Valor biológico ( <i>Biological Value</i> )
INCAP	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá ( <i>Institute of Nutrition of Central America and Panama</i> )
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución ( <i>High Performance Liquid Chromatography</i> )
CV	Coefficiente de variación ( <i>Coefficient of Variation</i> )
PITC	Fenil-isotiocianato ( <i>Phenylisothiocyanate</i> )
NSP	Polisacáridos distintos del almidón ( <i>Non-starch polysaccharide</i> )
AOAC	Asociación de Sociedades Analíticas Oficiales ( <i>Association of Official Analytical Communities</i> )
AA	Aminoácido ( <i>Amino Acid</i> )
DIAA	Aminoácido indispensable digerible ( <i>Digestible Indispensable Amino Acid</i> )
IAA	Aminoácido indispensable ( <i>Indispensable Amino Acid</i> )
WMP	Polvo de leche entera ( <i>Whole Milk Powder</i> )
Lys	Lisina ( <i>Lysine</i> )
SAA	Aminoácido azufrado ( <i>Sulphur Amino Acid</i> )
Thr	Treonina ( <i>Threonine</i> )
Trp	Triptófano ( <i>Tryptophan</i> )
CVDs	Enfermedades cardiovasculares ( <i>Cardiovascular diseases</i> )
His	Histidina ( <i>Histidine</i> )
Leu	Leucina ( <i>Leucine</i> )
AAA	Aminoácidos aromáticos ( <i>Aromatic Amino Acids</i> )
Val	Valina ( <i>Valine</i> )
Cys	Cisteína ( <i>Cysteine</i> )
Phe	Fenil-alanina ( <i>Phenylalanine</i> )
Met	Metionina ( <i>Methionine</i> )
Tyr	Tirosina ( <i>Tyrosine</i> )
Ile	Isoleucina ( <i>Isoleucine</i> )

PPU	Utilización postprandial de la proteína ( <i>Postprandial Protein Utilization</i> )
NPPU	Utilización postprandial neta de la proteína ( <i>Net Postprandial Protein Utilization</i> )
MA	Disponibilidad metabólica ( <i>Metabolic Availability</i> )
IAAO	Indicador de la oxidación de aminoácidos ( <i>Indicador Amino Acid Oxidation</i> )
IDAA	Aminoácidos indispensables de la dieta ( <i>Indispensable Dietary Amino Acid</i> )
EAR	Media estimada de requerimientos ( <i>Estimated Average Requirement</i> )
IEX	Cromatografía de cambio iónico ( <i>Ion Exchange chromatography</i> )
RP	Cromatografía de fase reversa ( <i>Reversed-phase chromatography</i> )
GCMS	Cromatografía de gases-Espectrometría de masas ( <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> )
CE	Electroforesis capilar ( <i>Capillary Electrophoresis</i> )
CEMS	Electroforesis capilar- Espectrometría de masas ( <i>Capillary Electroforesis-Mass Spectrometry</i> )
UPLC	Cromatografía líquida de ultrarresolución ( <i>Ultra Performance Liquid Chromatography</i> )
LCMS	Cromatografía líquida-Espectrometría de masas ( <i>Liquid Chromatography-Mass Spectrometry</i> )
LC	Cromatografía líquida ( <i>Liquid Chromatography</i> )
ANFs	Factores antinutricionales ( <i>Antinutritional Factors</i> )
NRV	Valores de referencia de nutrientes ( <i>Nutrient Reference Values</i> )
RCT	Ensayos controlados aleatorizados ( <i>Randomized Controlled Trials</i> )
JECFA	Comité Conjunto de Expertos en Aditivos Alimentarios ( <i>Joint Expert Committee on Food Additives</i> )

# Capítulo 1:

## Introducción

---

La población mundial aumenta rápidamente a pesar de la escasez de tierra, agua y recursos alimentarios, siendo más importante que nunca, ser capaces de definir de manera exacta la cantidad y calidad de las proteínas requerida para satisfacer las necesidades nutricionales humanas y para describir de manera adecuada la proteína suministrada por los ingredientes de los alimentos, alimentos completos, alimentos como fuente exclusiva y dietas mixtas. El ajuste entre el suministro dietético y las necesidades de proteína es vital para mantener la salud y el bienestar de las poblaciones.

En 1989, la Consulta de Expertos conjunta FAO/WHO sobre la Evaluación de la Calidad de las proteínas recomendó el uso del método PDCAAS (*Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score*: puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína) para evaluar la calidad de la proteína. Al calcular los PDCAAS, la puntuación del aminoácido limitante (es decir, la proporción del primer aminoácido limitante en un gramo de la proteína del alimento objeto del estudio y el valor en la proteína de referencia o el valor del requerimiento) se multiplica por la digestibilidad de la proteína, con la intención de valorar hasta qué punto la proteína de la dieta puede satisfacer la demanda de aminoácidos y permitir la predicción de la utilización de dicha proteína. El método PDCAAS ha sido utilizado durante veinte años y se ha comprobado su valor considerable en la práctica. Sin embargo, se han reconocido y discutido sus limitaciones y se han acumulado nuevas recomendaciones científicas sobre este tema, por lo cual parece oportuno revisar la adecuación de los PDCAAS y su aplicación en relación con otros métodos para estimar la calidad de las proteínas de la dieta.

Fue en este contexto científico cuando tuvo lugar la Consulta de Expertos FAO/WHO sobre la Evaluación de la Calidad de las Proteínas en Nutrición Humana en Auckland, Nueva Zelanda, desde el 31 de marzo al 2 de abril de 2011. Esta consulta siguió directamente al Simposio Internacional sobre la Proteína de la Dieta en la Salud Humana (Auckland, Nueva Zelanda, 27-30 de marzo de 2011) en el que se discutieron numerosos temas relevantes para la Consulta. La Agenda adoptada por la Consulta se adjunta como Apéndice I y los miembros de la Consulta figuran en el Apéndice II.

Se adoptaron los objetivos provisionales de este encuentro, que fueron los siguientes:

1. Revisar la eficacia y el uso del método PDCAAS para evaluar la calidad de las proteínas desde su adopción por el grupo de expertos en 1989 y la publicación posterior en 1991.
2. Revisar los aspectos problemáticos y las limitaciones del método PDCAAS publicados en la literatura científica.

3. Revisar las ventajas y las desventajas de los métodos alternativos para evaluar la calidad de la proteína.
4. Proporcionar justificaciones y recomendaciones para aceptar, rechazar y/o modificar el método PDCAAS.
5. Establecer recomendaciones para las valoraciones y las aplicaciones de la calidad de la proteína.
6. Recomendar investigaciones adicionales sobre la valoración de la calidad de las proteínas de acuerdo con las necesidades emergentes o con los nuevos progresos científicos tal como han sido identificados por el grupo de expertos.
7. Revisar los métodos de cálculo de los PDCAAS y puntuaciones relacionadas así como su uso en la práctica, y considerar la necesidad de revisiones o modificaciones basadas en el conocimiento y la experiencia generados en las dos últimas décadas.

El Comité de Expertos reconoció que este informe contribuye a ampliar los conocimientos exhaustivos incluidos en los informes previos de FAO/WHO sobre el tema y en la más amplia literatura científica reciente. Como en informes anteriores, la tarea principal de esta consulta ha sido proporcionar a la FAO herramientas para abordar las cuestiones prácticas sobre materias tales como la adecuación de la provisión de alimentos, objetivos para la política sobre alimentación y nutrición y las normas que deben aplicarse en el etiquetado y en la regulación de la calidad de las proteínas para las poblaciones en condiciones normales, así como proporcionar una perspectiva sobre la función potencial de la proteína en relación a la salud, bienestar y condiciones clínicas en las distintas etapas de la vida.

El objetivo de un informe de este tipo es proporcionar una valoración objetiva del estado actual del conocimiento científico en esta área y, por consiguiente, aconsejar para conseguir la mejor práctica. Naturalmente, en este proceso, se han identificado lagunas en el conocimiento. Por eso, este informe constituye otro paso importante en el proceso del progreso continuo. En este contexto, el informe proporciona recomendaciones para investigaciones futuras.

Al presentar este informe, el Comité de Expertos era consciente de las opiniones expresadas en el trabajo y en las enseñanzas del fallecido Profesor John C Waterlow, un pionero en este campo, de que los resultados de este trabajo deberían ser dirigidos, primero y principalmente, a combatir el hambre y la malnutrición en todas sus formas. Este ha sido el principio global que ha guiado al Comité.

El Comité recuerda con tristeza la muerte reciente del estimado miembro de la misma, Dr Malcolm Fuller. La colección de publicaciones científicas de 2012 como Suplemento Especial del *British Journal of Nutrition (Supplement: Dietary Protein for Human Health)*, que proporcionó los antecedentes científicos a la Consulta de Expertos y que ha sido dedicada a su memoria.

Paul J Moughan  
Presidente de la Consulta  
Septiembre, 2012

## Capítulo 2:

# Resumen de los hallazgos clave de la Consulta de Expertos de la FAO 2011 sobre la evaluación de la calidad de las proteínas en nutrición humana

---

En 1989 la Consulta conjunta de Expertos FAO/WHO sobre la Evaluación de la Calidad de las proteínas recomendó el uso de los PDCAAS (puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína) para la evaluación de la calidad de las proteínas en humanos. Al calcular los PDCAAS, la puntuación del aminoácido limitante se multiplica por la digestibilidad de la proteína con la intención de valorar hasta qué punto la fuente de proteína puede satisfacer la demanda de aminoácidos y permitir la predicción de la utilización de la proteína de la dieta. El método PDCAAS ha sido utilizado durante veinte años y ha demostrado su considerable valor en la práctica. Sin embargo, se han reconocido sus limitaciones y se han acumulado nuevos hallazgos científicos, por lo que es oportuno revisar su adecuación a los PDCAAS.

Ha sido en este contexto cuando ha tenido lugar la Consulta de Expertos de la FAO sobre la Evaluación de la Calidad de las Proteínas en Nutrición Humana en Auckland, Nueva Zelanda, desde el 31 de marzo al 2 de abril de 2011. Los hallazgos principales de esta Consulta se resumen a continuación.

### 2.1. HALLAZGOS CLAVE

- En la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta, los aminoácidos de la dieta deben ser considerados como nutrientes individuales y siempre que sea posible, en las tablas de alimentos deben proporcionarse los datos para los aminoácidos digestibles o biodisponibles sobre la base de su individualidad.
- Se recomienda una medida nueva de la calidad de las proteínas (DIAAS: puntuación de los aminoácidos indispensables digestibles) para reemplazar a los PDCAAS. Los DIAAS se definen así:  $\% \text{ DIAAS} = 100 \times [(\text{mg del aminoácido indispensable digestible de la dieta en 1 g de la proteína de la dieta} / (\text{mg del mismo aminoácido de la dieta en 1 g de la proteína de referencia}))]$ .

La utilización de la digestibilidad de los aminoácidos, tanto ileal como fecal, puede estar sujeta a limitaciones importantes, pero, consideradas en su conjunto, la digestibilidad ileal de la proteína o del aminoácido (determinada en el íleon terminal al final del intestino delgado)

refleja mejor las cantidades de los aminoácidos absorbidos y debe ser utilizada al calcular los DIAAS. La digestibilidad debe basarse en la digestibilidad ileal verdadera de cada aminoácido determinada preferiblemente en humanos y, si no es posible, en cerdos o en ratas en crecimiento, en este orden.

Cuando se trata de alimentos susceptibles de sufrir daños durante su procesamiento, se debe utilizar el contenido en lisina “reactiva” en vez de la lisina “total” para el cálculo de los DIAAS. Igualmente se debe utilizar la digestibilidad ileal verdadera de la lisina reactiva (disponibilidad de lisina) en vez de la lisina total.

Los patrones de puntuación de aminoácidos (es decir, los patrones de aminoácidos de la proteína de referencia) recomendados para calcular los DIAAS son los siguientes:

- Lactantes (desde el nacimiento hasta los 6 meses), patrón de la leche materna (Tablas 4 y 5 de este informe).
- Niños pequeños (desde los 6 meses hasta los 3 años), patrón para los infantes de 6 meses y mayores (Tabla 5 de este informe).
- Niños mayores, adolescentes y adultos, patrón para los niños entre 3 hasta 10 años (Tabla 5 de este informe).

A efectos reguladores se recomiendan dos patrones de puntuación: la composición en aminoácidos de la leche materna para las fórmulas de lactantes; y el patrón para los niños pequeños (de 6 meses hasta los 3 años) (Tabla 5 de este informe) para los otros grupos.

Al elaborar los DIAAS, debe calcularse la relación para cada aminoácido indispensable de la dieta y designar como DIAAS al valor más bajo. Los valores de DIAAS pueden estar por debajo (o en algunas circunstancias, por encima) del 100 %. Los valores por encima del 100 % no deben ser truncados, excepto cuando los cálculos de DIAAS se realicen para ingesta de proteína o aminoácidos para dietas mixtas o alimentos como única fuente.

- Una colección de la información actual disponible sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los alimentos para humanos fue recopilada y valorada, como parte de la función de la Consulta de Expertos, sobre su adecuación para la aplicación práctica en el cálculo de los DIAAS.

Tras la valoración de la colección de datos sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos se llegó a la conclusión de que los datos disponibles eran insuficientes para apoyar la aplicación en la práctica de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos para el cálculo de los DIAAS (aunque su uso se mantiene, en principio).

Se necesitan urgentemente más datos (determinados en humanos y modelos animales) sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los alimentos para humanos. Se necesitan también comparaciones entre especies (humanos, cerdo, rata) de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos.

Si los datos obtenidos a partir de estos estudios apoyan de manera convincente la puesta en práctica de la digestibilidad ileal, debe llevarse a cabo la valoración del impacto potencial de esta recomendación sobre la salud pública.

- Se recomienda que la FAO convoque un grupo de trabajo de manera urgente para acordar un protocolo experimental que permita la consecución de una base de datos más sólida sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los alimentos para humanos. También, que se acuerde un método para la valoración del impacto potencial del uso de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos. El protocolo debe incluir recomendaciones sobre la mejor práctica de la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos basada en los ensayos en cerdos.
- Se recomienda que la FAO establezca un grupo de trabajo formal para revisar las metodologías para el análisis de aminoácidos y que proporcione una orientación hacia la estandarización internacional. Se recomienda que se actualice la publicación de 1970 de la FAO *“Amino Acid Contents in Food and Biological Data on Proteins”* (contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre proteínas) sobre la base de incluir de forma continuada los valores, cuando estén disponibles, sobre digestibilidad de proteínas (fecal e ileal), digestibilidad ileal de aminoácidos y DIAAS.
- Hasta que la base de datos acordada sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de la dieta humana esté disponible, la calidad de las proteínas de los alimentos para humanos y de las dietas debería ser valorada usando los DIAAS, pero también deberían utilizarse los valores de digestibilidad fecal de la proteína cruda. Entretanto, los valores para los aminoácidos digeribles individuales de la dieta deberían ser calculados utilizando los valores de digestibilidad fecal de la proteína cruda aplicados al contenido en aminoácidos de la dieta.
- Será necesario apoyo financiero para la agenda de investigación anteriormente descrita (comparación de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos entre especies y desarrollo de una base de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en la alimentación humana). Es de esperar que este apoyo sea proporcionado urgentemente por el sector privado junto con las agencias técnicas y normativas de Naciones Unidas, agencias gubernamentales multilaterales, bilaterales y nacionales, y organizaciones para el bienestar público. Si no se asignan los recursos correspondientes de manera adecuada, estas recomendaciones para la aplicación de los DIAAS deberían ser revisadas ya que los DIAAS y las conclusiones de este informe se basan en un sistema de la digestibilidad y la disponibilidad ileal verdadera de los aminoácidos.

- El método DIAAS se recomienda para la valoración de la calidad de las proteínas de la dieta a efectos reguladores. El informe estudia el uso de los DIAAS en relación a las alegaciones nutricionales.
- El informe hace recomendaciones para investigaciones futuras en esta área.

# Capítulo 3:

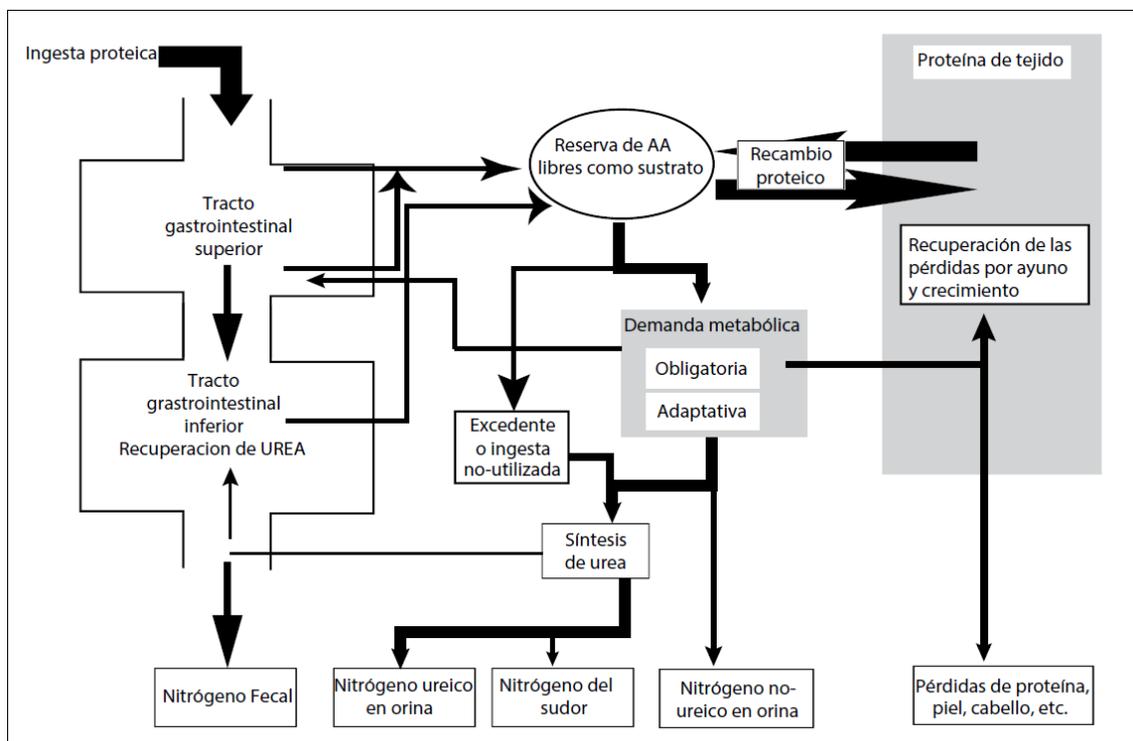
## Antecedentes de la Consulta

### 3.1. PRINCIPALES REVISIONES CIENTÍFICAS SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS

#### Introducción

La evaluación de la calidad de las proteínas tiene como objetivo determinar la capacidad de las fuentes alimentarias de proteína para satisfacer los requerimientos de proteína y nitrógeno amínico de los aminoácidos indispensables, es decir, para satisfacer las necesidades metabólicas de aminoácidos y nitrógeno (véase la Figura 1). Los requerimientos de proteína se definen en la actualidad como la ingesta necesaria para satisfacer las necesidades metabólicas para el mantenimiento del organismo, que a su vez está indicado por el equilibrio nitrogenado en los grupos de edad correspondientes más los requerimientos asociados con las necesidades proteicas para el crecimiento normal de lactantes y adolescentes, y para mujeres embarazadas y durante la lactancia.

**FIGURA 1.** Modelo del metabolismo de las proteínas en humanos de la WHO/FAO/UNU (2007)



Así, las únicas medidas realmente válidas de la calidad de las proteínas para humanos son las que valoran directamente la eficacia de las diferentes fuentes proteicas para un crecimiento

normal o que valoran otras funciones dependientes de una nutrición proteica adecuada en los individuos que representan a la población objeto de estudio. Sin embargo, a pesar de esta definición de la situación ideal, la valoración de la calidad de las proteínas en los grupos de población humanos en las décadas pasadas se han basado en los enfoques indirectos que implican tanto los ensayos *in vitro* como los estudios metabólicos en animales o humanos que pueden ser usados de manera rutinaria y segura para predecir la utilización de aminoácidos y proteínas. Para asegurar la exactitud y una aplicación amplia, los métodos de rutina deben incluir todos los parámetros básicos que determinan colectivamente la calidad de una proteína: cantidades absolutas y relativas de los aminoácidos indispensables de la dieta (IAA), digestibilidad de la proteína y la biodisponibilidad de los aminoácidos (Harper, 1981).

### 3.2. CONFERENCIA DE AIRLEE (1981)

Las principales revisiones y evaluaciones de los métodos para la valoración de la calidad de la proteína, incluyendo los basados en el crecimiento de ratas y el balance nitrogenado, así como las técnicas de puntuación de aminoácidos fueron estudiadas en la conferencia de Airlee de 1981 patrocinada por la *Howard University*, la USDA y la *US National Science Foundation* (Boadwell *et al.*, 1981); por el *Codex Committee on Vegetable Proteins* (Comité Codex sobre proteínas vegetales), que tuvo lugar entre 1982 y 1989 (*Codex Alimentarius Comisión*, 1989); por la FAO/WHO (1991, 2001) y por la WHO/FAO/UNU (2007). En la conferencia de Airlee se acordó de forma general que el método PER (*Protein Efficiency Ratio*: proporción de eficiencia proteica) método que debería ser reemplazado por uno más preciso y apropiado. Aunque el método RNPR (*Relative Net Protein Ratio method*: método para la valoración de la proporción de proteína neta relativa) se ha considerado como una mejora sobre el método PER, un método más adecuado para evaluar la calidad proteica de los alimentos es el basado en la comparación del contenido en aminoácidos de los alimentos con los requerimientos de aminoácidos del ser humano (sistema de puntuación de los aminoácidos), (Harper, 1981). Se recomendó también que la puntuación de aminoácidos debiera ser corregida por la digestibilidad incompleta de la proteína y por la no disponibilidad de los aminoácidos individuales, especialmente los más susceptibles al daño durante el procesado y cocinado antes de su consumo. Este congreso reconoció la necesidad de investigaciones futuras para estandarizar la metodología de los análisis de aminoácidos, mejorar los métodos para la determinación de la digestibilidad de la proteína y la biodisponibilidad de los aminoácidos y para profundizar en la investigación de los requerimientos de aminoácidos en humanos con el objetivo de desarrollar un patrón exacto de puntuación de aminoácidos (Boadwell *et al.*, 1981).

### 3.3. DELIBERACIONES DEL COMITÉ DEL CODEX SOBRE PROTEÍNAS VEGETALES EN RELACIÓN A LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS (1982-1989)

Las recomendaciones de la conferencia de Airlee fueron recogidas por el CCVP (*Codex Alimentarius Comisión*, 1989), que fue establecido para desarrollar estándares internacionales del Codex (incluyendo los requerimientos de la calidad proteica) para los productos proteicos vegetales. Se formó un grupo de trabajo específico para la medida de la

calidad de las proteínas (*“Ad Hoc” Working Group on Protein Quality Measurement*) con el fin de dirigir una investigación cooperativa para identificar los métodos más prometedores para la evaluación de la calidad de las proteínas de los alimentos. En estudios colaborativos organizados por la USDA (Bodwell *et al.*, 1989) se estudiaron diecisiete productos proteicos en los aspectos siguientes: perfil de aminoácidos, digestibilidad de aminoácidos y proteínas (mediante métodos *in vitro* y de balance nitrogenado en ratas), disponibilidad de aminoácidos (por métodos químicos y métodos de crecimiento en rata, *Escherichia coli* y *Streptococcus zymogenes*) e índices de calidad proteica basados en los valores de PR, NPR, RNPR, NPU y BV obtenidos en ratas al destete de crecimiento rápido. La USDA organizó también estudios interlaboratorios sobre las determinaciones de la calidad de las proteínas para analizar la adecuación de los métodos *in vitro* (McDonough *et al.*, 1990a) y para estandarizar los métodos del balance nitrogenado en rata (McDonough *et al.*, 1990b). Los resultados de estos estudios y de otros estudios relacionados fueron discutidos en la Quinta Sesión del CCVP que tuvo lugar en 1989 en Ottawa, Canadá.

Basándose en las recomendaciones del *“Ad Hoc” Working Group on Protein Quality Measurement*, el CCVP en su Quinta Sesión ya citada acordó que, dado que los valores de los requerimientos de los aminoácidos indispensables de la dieta habían sido identificados por la FAO/WHO/UNU (1985) y que este informe había sugerido que la calidad de una proteína puede ser pronosticada mediante la comparación entre su composición en aminoácidos y el patrón de los requerimientos humanos de aminoácidos (es decir, la puntuación en aminoácidos corregida por su digestibilidad basada en la digestibilidad fecal verdadera de la proteína obtenida por el método del balance nitrogenado en la rata), por tanto, este enfoque era el más aconsejable para la valoración rutinaria de la calidad proteica de las proteínas vegetales y de otros productos alimentarios (*Codex Alimentarius Comisión*, 1989). La puntuación en aminoácidos se basó en la cantidad del primer aminoácido limitante, y su cálculo incluía el uso del patrón de requerimientos aconsejado por la FAO/WHO/UNU (1985) para los niños en edad preescolar obtenida en estudios realizados por la INCAP (*Institute of Nutrition of Central America and Panama*: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá) entre las décadas de los 60 y 70 del siglo XX (Viteri, 2010). Debido a que los métodos propuestos para la determinación de la calidad de las proteínas tienen amplias implicaciones más allá del alcance específico de la CCVP, este comité reconocía la necesidad de pedir resultados a la comunidad científica en general en relación a la cuantificación de los aminoácidos, medidas de la digestibilidad de la proteína y de la disponibilidad de los aminoácidos y de las correlaciones respectivas en humanos. De acuerdo con lo anterior, la CCVP recomendó en su Sesión Quinta en 1989 que se debería convocar una Consulta de Expertos FAO/WHO/UNU para revisar la metodología para la valoración de la calidad de la proteína. Dicha consulta fue pedida para revisar los resultados y las recomendaciones de la investigación dirigida por el *Codex “Ad Hoc” Working Group on Protein Quality Measurement*, y para evaluar la utilidad de los métodos PDCAAS en la valoración de la calidad de las proteínas en nutrición humana.

### **3.4. CONSULTA CONJUNTA DE EXPERTOS FAO/WHO SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA (1989)**

Una Consulta de Expertos Conjunta FAO/WHO sobre la Evaluación de la Calidad de las Proteínas tuvo lugar en Bethesda, MD entre los días 4 y 8 de diciembre de 1989. Los objetivos de este encuentro fueron: revisar los conocimientos actuales sobre la valoración de la calidad de la proteína, discutir las técnicas diversas utilizadas en la valoración de la calidad de las proteínas alimentaria y evaluar la puntuación específica de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína (PDCAAS), el método recomendado por la CCVP. El informe de esta Consulta Conjunta de Expertos FAO/WHO fue publicado en 1991. Se concluyó que el PDCAAS era el método regulador más aconsejable para valorar la calidad de las proteínas en alimentos y fórmulas infantiles. Se concluyó además que, ya que este método está basado en los requerimientos humanos de aminoácidos, resulta intrínsecamente más apropiado que los ensayos animales para predecir la calidad de los alimentos. Por tanto, la Consulta recomendó que se adoptara el PDCAAS como método preferente para medir la calidad de las proteínas en nutrición humana. Otras conclusiones y recomendaciones de esta Consulta (FAO/WHO, 1991) se indican a continuación:

#### **Análisis de los aminoácidos de los alimentos**

1. La Consulta de 1989 reconoció que se han hecho avances significativos en la estandarización de las metodologías para la determinación de los aminoácidos.
2. Se señaló que los métodos para la determinación de los aminoácidos en los alimentos requieren tres hidrólisis estandarizadas incluyendo hidrólisis de la proteína no oxidada para la determinación de todos los aminoácidos excepto triptófano, metionina y cisteína; hidrólisis ácida de la proteína oxidada para la determinación de metionina y cisteína; e hidrólisis alcalina de la proteína no oxidada para la determinación de triptófano (AOAC, 2000). La hidrólisis debe ser seguida por la separación y cuantificación de los aminoácidos liberados por cromatografía de cambio iónico (IEC) utilizando resinas de intercambio de cationes y derivación post-columna (por un analizador comercial de aminoácidos o sistema HPLC) o por derivación pre-columna seguida de HPLC de fase inversa.
3. La estandarización de los métodos de análisis puede proporcionar valores con un coeficiente de variación (CV) dentro de los laboratorios de aproximadamente un 5 % y entre laboratorios de aproximadamente un 10 % para la mayoría de los aminoácidos. Esta variabilidad se consideró aceptable para el cálculo de la puntuación de aminoácidos.
4. Se señaló la necesidad de realizar estudios futuros para estandarizar los procedimientos de hidrólisis y oxidación, y para incrementar la exactitud de los procedimientos con el propósito de reducir la variación entre laboratorios.
5. Se recomendaron los ensayos colaborativos y los análisis comparativos de los métodos nuevos de HPLC.
6. Se recomendó que los resultados de aminoácidos deberían ser comunicados como mg de aminoácido/g N o mg aminoácido/g proteína utilizando el factor de conversión nitrógeno-proteína de 6.25. No se recomendó el uso de otros factores específicos de proteína de alimentos.

7. Se recomendó a la FAO la actualización de su publicación titulada *“Amino Acid Content of Foods and Biological Data on Proteins”* (contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre proteínas, FAO 1970) así como la realización de nuevos análisis de aminoácidos en fuentes locales de alimentos para los que existan datos insuficientes.
8. Se recomendó que se elaboraran tablas nacionales de composición de aminoácidos de productos alimenticios, definidos claramente en términos de composición y procesado.

#### **Requerimientos de aminoácidos y patrón de puntuación**

1. La Consulta de 1989 reconoció que el patrón de puntuación de aminoácidos propuesto en 1985 (FAO/WHO/UNU, 1985) para los niños de edad preescolar era el más aconsejable para su utilización en la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta para todos los grupos de edad, excepto lactantes.
2. Se señaló también que el perfil de aminoácidos de la leche humana madura debería ser la base del patrón de puntuación para valorar la calidad de las proteínas en los alimentos para lactantes menores de un año de edad, considerando que el crecimiento y el estado metabólico de los lactantes alimentados exclusivamente con leche materna fue fijado como estándar normativo tanto para el crecimiento como para las necesidades nutricionales entre 0-6 meses.
3. Se señaló también que la recomendación para los dos patrones de puntuación de aminoácidos utilizados para lactantes y para los demás grupos de edad deben ser considerados como provisionales hasta que los resultados de nuevas investigaciones confirmen su adecuación o se exija su revisión.
4. Se recomendó que se realizaran nuevas investigaciones para confirmar los valores de requerimientos de aminoácidos y proteínas para lactantes y niños en edad preescolar establecidos en la actualidad, y para definir los requerimientos en aminoácidos de los niños en edad escolar, adolescentes y adultos; y que estos programas de investigación internacionales para determinar las necesidades humanas de aminoácidos, fueran coordinados por FAO/WHO.

#### **Consideraciones sobre digestibilidad**

1. La Consulta de 1989 encontró similitudes en la capacidad de humanos y ratas para digerir los alimentos. Por eso concluyó que la digestibilidad verdadera de la proteína cruda es una aproximación razonable para la digestibilidad verdadera de la mayoría de los aminoácidos (determinada por el método del balance nitrogenado en la rata) en dietas basadas en fuentes animales de proteína, cereales, semillas oleaginosas, legumbres o mezclas de fuentes de proteína. Por tanto, se recomendó que las puntuaciones de aminoácidos fuesen corregidas únicamente por la digestibilidad verdadera de la proteína.
2. La Consulta acordó que el método del balance nitrogenado en la rata era el método práctico más aconsejable para predecir la digestibilidad de la proteína en humanos.
3. Se recomendó además que se emprendiera una investigación para comparar los valores de digestibilidad proteica entre humanos y ratas con alimentos idénticos.

4. Se recomendó que se llevaran a cabo nuevas investigaciones para perfeccionar y evaluar los procedimientos *in vitro* más prometedores para estimar la digestibilidad de la proteína; y que cuando no pudieran utilizarse los estudios de balance nitrogenado en humanos, deberían usarse los métodos estandarizados del balance fecal en rata de Eggum (1973) o McDonough *et al.* (1990b).
5. Deben realizarse determinaciones de digestibilidad para productos o procesos nuevos. Sin embargo, los valores establecidos de digestibilidad proteica de los alimentos bien definidos pueden obtenerse de las bases de datos publicadas para su uso en valoraciones rutinarias de la calidad proteica de alimentos por el procedimiento de la puntuación en aminoácidos, con tal de que se hayan establecido todos los criterios toxicológicos y de seguridad. Además, debe establecerse una base de datos para la digestibilidad proteica de los productos crudos y procesados.
6. Se estimuló a la realización de nuevas investigaciones para perfeccionar y evaluar los métodos *in vitro* más prometedores para predecir la digestibilidad proteica, tales como los de Satterlee *et al.* (1979) y el de Pederson y Eggum (1983).
7. Se reconoció que los valores de digestibilidad de aminoácidos obtenidos por métodos fecales son inexactos en comparación con los obtenidos por análisis ileal para la mayoría de los aminoácidos de la mayor parte de productos alimentarios. En algunos estudios se ha señalado que hay una síntesis neta de metionina y lisina en el intestino grueso. Así, dependiendo de los aminoácidos de los alimentos, sus valores de digestibilidad obtenidos por análisis fecal están sobreestimados (que es lo más habitual) o subestimados cuando se comparan con los obtenidos por análisis ileal. Aunque se reconoció que la medida de la digestibilidad fecal de aminoácidos y proteínas tenía deficiencias, se consideró que este método era todavía superior en la práctica al método de análisis ileal. Esta decisión estaba basada en las dudas relativas a la contribución y variaciones de las secreciones de proteínas en el íleon terminal.

#### **Recomendaciones globales de la Consulta de Expertos FAO/WHO (publicado en 1991)**

Basándose en las conclusiones que se acaban de mencionar, la Consulta acordó que el método PDCAAS es el más aconsejable para la evaluación rutinaria de la calidad global de la proteína en humanos. Por ello, se recomendó la adopción de este método como método oficial a nivel internacional.

#### **3.5. CONSULTA DE EXPERTOS FAO/WHO/UNU SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS EN NUTRICIÓN HUMANA) (ROMA 2001, GINEBRA 2002, PUBLICADO COMO UN INFORME FAO/WHO/UNU EN 2007).**

Los objetivos principales de esta Consulta fueron: “revisar, aconsejar y actualizar los requerimientos de proteínas y aminoácidos para todos los grupos de edad (lactantes, niños, adolescentes, adultos y ancianos), y para las mujeres durante el embarazo y la lactancia; revisar y desarrollar las recomendaciones sobre los requerimientos de proteínas en la salud y en la enfermedad, incluyendo sus implicaciones para los países en desarrollo; y desarrollar

recomendaciones sobre la calidad de las proteínas y el etiquetado, con respecto a los niveles de los nuevos requerimientos, para su uso mundial y en el *Codex Alimentarius*".

Desde su adopción por la FAO/WHO en 1991, el método PDCAAS ha sido aceptado ampliamente pero ha sido criticado también por una serie de razones. En la preparación para la Consulta de Expertos sobre los Requerimientos de Proteínas y Aminoácidos en Nutrición Humana, los expertos se reunieron en un encuentro preliminar que tuvo lugar en Roma en 2001 formando varios grupos de trabajo. Uno de estos grupos (*Working Group 5*) estudió, entre otros temas, los resultados analíticos sobre proteínas, calidad proteica y etiquetado de alimentos.

Este grupo de trabajo 5, en un informe no publicado, valoró la validez de las críticas sobre el método PDCAAS. Estas críticas incluyeron:

1. El método PDCAAS no acredita los valores extra nutricionales para las proteínas de calidad alta.
2. El método PDCAAS sobreestima la calidad proteica de los productos que contienen factores antinutricionales.
3. El método PDCAAS no tiene en cuenta de manera adecuada la biodisponibilidad de los aminoácidos.
4. El método PDCAAS sobreestima la calidad de las proteínas de difícil digestión suplementadas con aminoácidos limitantes, y de las proteínas limitantes en más de un aminoácido.

Después de estudiar las críticas mencionadas sobre el método PDCAAS, el grupo de trabajo realizó las siguientes observaciones y recomendaciones:

1. Existen dos usos distintos de los datos de calidad de la proteína: valoración de la capacidad de las dietas para satisfacer los requerimientos humanos de proteína y de aminoácidos; y la valoración de la adecuación a efectos reguladores de los alimentos y de los productos alimenticios vendidos a los consumidores.
2. Los aminoácidos deben ser considerados como nutrientes individuales, y la evaluación final del valor nutricional de las proteínas debería basarse en los datos sobre aminoácidos en comparación con los requerimientos. Esto requeriría el uso de ajustes por la digestibilidad de proteínas y/o aminoácidos y por su disponibilidad.
3. Existen datos suficientes sobre la digestibilidad de las proteínas de los alimentos y estos datos deberían ser recopilados. Sin embargo, la información sobre la digestibilidad y biodisponibilidad de los aminoácidos es insuficiente. Hasta que se disponga de datos suficientes sobre los aminoácidos digestibles en los alimentos, la inclusión de correcciones para la digestibilidad de la proteína sería útil a efectos nutricionales para predecir la información sobre los niveles de aminoácidos digestibles. Esto debería indicar la capacidad de las fuentes de proteínas específicas para complementar las fuentes proteicas deficientes en aminoácidos indispensables específicos.

4. Hasta que los datos sobre los aminoácidos digeribles en los alimentos estén disponibles, la digestibilidad de la proteína debería considerarse como una buena aproximación a la biodisponibilidad de los aminoácidos en las dietas mixtas para humanos realizadas a partir de alimentos convenientemente procesados (que contengan cantidades mínimas de residuos de factores antinutricionales). En tales casos, el método PDCAAS debe ser el preferido para la predicción de rutina de la calidad de la proteína.
5. El método PDCAAS puede ser inapropiado para la predicción rutinaria de la calidad de las proteínas de alimentos como única fuente (tales como fórmulas infantiles y fórmulas para nutrición enteral) y para fuentes novedosas de proteína que contengan niveles altos de factores antinutricionales conocidos, tanto los de origen natural como los formados en su procesado. Debido a que los niveles altos de factores antinutricionales (factores presentes en los alimentos que no son nutrientes y pueden alterar la digestión o el metabolismo) pueden tener un efecto adverso sobre la digestibilidad de los aminoácidos y la utilización de la proteína, el uso del método PDCAAS podría sobrevalorar la calidad proteica de los productos que contengan estos factores. Es necesario establecer los límites superiores de seguridad de los factores antinutricionales.
6. A efectos reguladores, el método PDCAAS tampoco es apropiado para la predicción de la calidad de las proteínas de los ingredientes de alimentos con alta calidad proteica porque no reconoce su valor nutricional como suplementos para proteínas de baja calidad; por tanto, el método PDCAAS debería ser revisado para permitir valores superiores a 100 para los ingredientes alimenticios.
7. Se deben emprender estudios adicionales para estandarizar los procedimientos de hidrólisis y oxidación con el fin de mejorar la exactitud y reducir las variaciones interlaboratorios en los análisis de aminoácidos. Deben realizarse estudios de colaboración sobre los métodos ampliamente utilizados de HPLC para la determinación de aminoácidos tales como la derivación pre-columna con PITC (fenilisotiocianato). Además, se debería desarrollar un método estandarizado oficial para la determinación de aminoácidos en alimentos, heces y digesta ileal.
8. Se deberían iniciar investigaciones para comparar los valores de digestibilidad ileal de aminoácidos entre los ensayos en humanos y en modelos animales con alimentos idénticos. Además, deberían desarrollarse procedimientos estandarizados de medida de digestibilidad ileal, así como deberían generarse datos suficientes sobre alimentos que facilitarían el reemplazamiento del método fecal por el método ileal. La digestibilidad ileal se define como la desaparición de un nutriente entre la boca y el final del intestino delgado (íleon terminal) mientras que la digestibilidad fecal se define como la desaparición de un nutriente entre la boca y el final del tracto digestivo.
9. La publicación *"Amino Acid Contents of Food and Biological Data on Proteins"* (contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre proteínas, FAO, 1970) debería ser revisada con datos nuevos e información adicional sobre los factores de conversión nitrógeno-proteína, así como valores de digestibilidad de aminoácidos donde fueran aplicables.
10. Las recomendaciones que se acaban de señalar para revisión junto con la recopilación adicional de datos e investigaciones complementarias deberían mejorar la utilidad del

método PDCAAS; y aconsejan nuevos ensayos *in vitro* o biológicos adecuados para la predicción rutinaria de la calidad de las proteínas alimentaria que serían aplicables a todo tipo de alimentos utilizados en nutrición humana.

### Recomendaciones globales

Teniendo en cuenta las deficiencias encontradas en el método PDCAAS señaladas anteriormente, se recomendó que se convocara una nueva Consulta de Expertos FAO/WHO sobre la evaluación de la calidad de las proteínas para volver a examinar la validez del método para la valoración de la calidad de las proteínas de alimentos; y se aconsejó la realización de revisiones adecuadas y/o que se adoptara un ensayo biológico que pudiera ser aplicable a todos los tipos de alimentos utilizados en las dietas humanas.

En el informe final de la Consulta, publicado en 2007, el método PDCAAS fue aprobado con modificaciones mínimas para el método de cálculo, pero surgieron algunas dudas al respecto que se detallan a continuación:

En informes anteriores, los patrones de puntuación se calculaban dividiendo los valores de los requerimientos de aminoácidos por el nivel seguro de ingesta proteica. Sin embargo, de manera más reciente se han elaborado patrones de puntuación basados en los valores de requerimientos de aminoácidos, que generalmente reflejan mejor las estimaciones de la media de requerimientos. Este enfoque se basa en los valores obtenidos por Hegsted (1963) a partir de los análisis de regresión de los datos del balance nitrogenado. Por tanto, los patrones de puntuación del informe FAO/WHO/UNU (2007) se basaron en los valores de requerimientos de aminoácidos divididos por los requerimientos medios de proteína.

Se propusieron nuevos patrones de puntuación para 4 grupos de edad, incluyendo lactantes, niños en edad preescolar (1-2 años), niños mayores y adolescentes (4-18 años) y adultos (> 18 años).

Una segunda duda estaba relacionada con la corrección de la digestibilidad proteica fecal en contraposición a la ileal en el cálculo de los PDCAAS. En la introducción del informe final, la digestibilidad de la proteína de la dieta ha sido revisada en ambos términos, ileal y fecal. Se argumentó que la digestibilidad es mucho más compleja de lo asumido, ya que existe un intercambio considerable del nitrógeno proteico, aminoácidos y urea entre los contenidos sistémicos y el lumen intestinal, tal como se muestra en la Figura 1 sobre el modelo del metabolismo nitrogenado global en humanos. En este contexto se plantearon dos importantes cuestiones.

En primer lugar, la “digestibilidad ileal” (la diferencia entre los aminoácidos de la dieta y los que aparecen en el íleon terminal) es, en el mejor de los casos, una aproximación bruta a la utilización de las sustancias nitrogenadas en el intestino delgado. Esto se debe a que existe un flujo de magnitud considerable de compuestos nitrogenados endógenos en el lumen del intestino delgado (posiblemente hasta 70-100 g de proteína diaria) que se mezcla con los aminoácidos de la dieta, siendo ambos sustancialmente absorbidos hasta que llegan al íleon

terminal. Se señaló, sin embargo, que existen metodologías que permiten la determinación de los aminoácidos ileales endógenos y la corrección de los valores de digestibilidad de aminoácidos para este componente.

En segundo lugar, estudios de marcadores indican que el nitrógeno fecal procede de un "pool" de nitrógeno que incluye no solamente los efluentes ileales y algunos residuos del consumo de los alimentos de la dieta, sino también células y mucinas procedentes de la descamación del colon, así como compuestos nitrogenados aportados por la circulación sistémica, especialmente urea y posiblemente, ácido úrico y creatina. Este nitrógeno está presente en las heces principalmente como proteína microbiana en cantidades que se han mostrado ser en algunas ocasiones mucho menores que las estimadas de influjo total de nitrógeno por el colon, debido a la recaptación considerable de este nitrógeno. Además, estudios en humanos han mostrado que el nitrógeno fecal es en cierto grado, una función de la biomasa bacteriana en el colon, y que esta biomasa está relacionada con el consumo de almidón resistente de la dieta y de polisacáridos distintos al almidón (*non-starch polysaccharide: NSP*), que se utilizan como fuentes energéticas para el desarrollo de las bacterias colónicas que utilizan el nitrógeno procedente de la recuperación de la urea. Debido a que la recaptación del nitrógeno a partir del colon se produce fundamentalmente como amoniaco, que vuelve a entrar en el "pool" metabólico como se muestra en la Figura 1, su excreción final puede incluir la urea urinaria. De hecho, existen evidencias de que cuando las dietas humanas contienen grandes proporciones de alimentos vegetales y NSP, hay una relación inversa entre la excreción de nitrógeno urinario y fecal. Tomados en su conjunto, estos datos indican que el nitrógeno fecal no puede ser utilizado como una medida fidedigna de digestibilidad cuando las dietas humanas contienen grandes cantidades de hidratos de carbono no digeribles. Se concluyó que ambos conceptos, digestibilidad ileal y digestibilidad fecal, pueden estar sujetos a limitaciones importantes, especialmente cuando se necesite determinar el valor nutricional crítico de alimentos al margen de satisfacer los requerimientos dietéticos. Se concluyó que los métodos de valoración de la digestibilidad de la proteína de la dieta en nutrición humana no pueden ser utilizados con confianza para el desarrollo de opciones nutricionales, a no ser que se hayan tenido en cuenta adecuadamente las limitaciones de las suposiciones subyacentes.

En contra de estos antecedentes, se examinó el problema del uso de la digestibilidad ileal en contraposición a la fecal observando especialmente los informes de la literatura científica acerca de las diferencias ileo-fecales de importancia práctica en animales no rumiantes como cerdos y ratas, y la aplicabilidad de estas observaciones a los humanos (Darragh y Hodgkinson, 2000; Moughan, 2003), así como las diferencias ileo-fecales observadas en humanos (Rowan *et al.*, 1994; Gaudichon *et al.*, 2002; Moughan, 2003). Se recomendó que, mientras que la digestibilidad fecal pudiera seguir siendo considerada como una medida apropiada de la digestibilidad global del nitrógeno, es improbable que constituya una medida exacta de la digestibilidad de los aminoácidos.

Una tercera duda está relacionada con la biodisponibilidad reducida de algunos aminoácidos, como la lisina, que puede ser transformada químicamente durante el procesado de alimentos. Se observó que la corrección de la digestibilidad de la proteína en el cálculo de

los valores PDCAAS puede no tener en cuenta esta reducción en la biodisponibilidad. Por tanto, se reconoció la necesidad de disponer de un ensayo específico en estos casos para medir de forma exacta la digestibilidad de la lisina. Para ello se consideró aconsejable un ensayo específico de la lisina “reactiva”, que la distinga de la lisina biológicamente no biodisponible por haber sufrido la reacción de Maillard (Moughan y Rutherfurd, 1996; Rutherfurd *et al.*, 1997<sup>a</sup>; Rutherfurd y Moughan, 1998; Moughan, 2003).

Una cuarta duda, importante y controvertida, está relacionada con el truncamiento de la puntuación de aminoácidos y por consiguiente, con el valor de PDCAAS. Se argumentó que este procedimiento elimina cualquier diferencia nutricional entre los alimentos ricos en proteína tales como leche y soja, aunque las concentraciones reales de aminoácidos indispensables de importancia, que pueden ser limitantes en algunas dietas, son más altos en la leche que en la soja. Esto podría reconocerse al dar a las fuentes individuales de proteína una puntuación de aminoácidos  $> 1$  (o  $> 100$ ). En el informe FAO/WHO de 1991 no se utilizó el truncamiento para el cálculo de la puntuación de aminoácidos pero se aplicó, en cambio, para el cálculo de los valores PDCAAS, lo que originó una confusión considerable.

El valor PDCAAS debería predecir la eficacia global de la utilización de la proteína basándose en dos componentes, digestibilidad y valor biológico (BV: nitrógeno retenido dividido por nitrógeno digerido). El argumento que subyace bajo este enfoque es que la utilización de cualquier proteína está limitada inicialmente por su digestibilidad, que determina la cantidad global del nitrógeno absorbido procedente de los aminoácidos de la dieta; y el BV describe la capacidad de los aminoácidos absorbidos para satisfacer la demanda metabólica. Para cualquier cantidad de nitrógeno absorbido, lo mejor que se puede lograr es que el patrón de aminoácidos satisfaga exactamente los requerimientos, de tal modo que todos los aminoácidos sean utilizados. Además, se señaló que mientras la puntuación se determina solamente para el contenido en aminoácidos indispensables, la demanda metabólica está determinada por estos aminoácidos y por el nitrógeno no indispensable de la dieta. Esto significa que cuando alguno o todos los aminoácidos indispensables están presentes en exceso con relación a la demanda, la mezcla absorbida podría ser desequilibrada y limitada por los aminoácidos dispensables. Por tanto, el valor biológico no debe exceder nunca 1 ó 100. A este respecto, no deberían utilizarse nunca valores de PDCAAS  $> 1$  ó 100 para dietas mixtas o alimentos completos.

Se consideró también que el cálculo de la puntuación de aminoácidos para una mezcla de proteínas de la dieta requiere una clarificación, especialmente cuando varía la digestibilidad de las proteínas individuales. En este caso, la puntuación de los aminoácidos se calcula para la mezcla a partir de su perfil global de aminoácidos sin identificar la puntuación de las proteínas correspondientes. Basándose en el principio de que la primera etapa limitante es la digestibilidad de la proteína, la puntuación de aminoácidos para una mezcla proteica debería calcularse a partir del peso medio del contenido en aminoácidos digestibles. Esto contrasta con las recomendaciones del informe FAO/WHO de 1991.

El informe final (WHO/FAO/UNU, 2007) concluyó que existen varios aspectos sobre la evaluación de la calidad de las proteínas que requieren mayores consideraciones. Se

recomendó que debería realizarse un informe técnico nuevo sobre el listado completo de la digestibilidad y la puntuación de aminoácidos de las proteínas alimentarias basados en los datos actuales de la composición en aminoácidos, y sobre los nuevos patrones de puntuación (derivados del informe WHO/FAO/UNU de 2007). Sin embargo, se sugirió que deberían ser aplicados los principios discutidos en el informe. Es decir, la calidad de las proteínas debería ser valorada en términos de los PDCAAS calculados a partir de la mejor estimación de la digestibilidad de la proteína y la puntuación de aminoácidos, basados en la comparación entre la composición en aminoácidos de la proteína digestible con el patrón de puntuación adecuado al grupo de edad. Además, cuando esos valores de PDCAAS son usados para ajustar las ingestas de la mezcla dietética para conseguir un nivel seguro, la puntuación de la mezcla no debería ser mayor de 1 ó 100. Sin embargo, se consideró que los casos en los que las puntuaciones no truncadas de aminoácidos fueran > 1 ó 100 para fuentes individuales de proteínas requerirían una evaluación adicional.

Desde el informe FAO/WHO (1991), se han realizado avances significativos en los métodos para el análisis de aminoácidos en los alimentos y para determinar su digestibilidad. Además, el grupo de trabajo 5 de la Consulta de Roma de 2001 recomendó que la proteína debe ser medida como la suma de los residuos de los aminoácidos individuales (el peso molecular de cada aminoácido menos el peso molecular del agua) más los aminoácidos libres. Ya que no hay un método internacional oficial de la AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*: Asociación Oficial de Químicos Analíticos) para el análisis de aminoácidos de alimentos, se requeriría un consenso científico e investigaciones colaborativas para alcanzar este objetivo.

### **Consulta FAO 2011**

Basándose en las deliberaciones del grupo de trabajo FAO/WHO (2011) y la Consulta de Expertos WHO/FAO/UNU sobre los Requerimientos en Proteínas y Aminoácidos que tuvo lugar en 2002 y cuyos resultados se publicaron en 2007, se decidió celebrar una nueva Consulta de Expertos de FAO para la evaluación de la proteína de la dieta, dirigida especialmente a estudiar los objetivos principales de las consultas anteriores que permanecían sin resolver. Con este fin tuvo lugar una Consulta de FAO en Auckland, Nueva Zelanda en 2011, inmediatamente seguida por un simposio internacional sobre la Proteína de la Dieta en la Salud Humana (*International Symposium on Dietary Protein for Human Health*) organizado por el *Riddet Institute, Massey University, Nueva Zelanda, FAO, Roma y Health Canada, Ottawa*.

# Capítulo 4:

## Hallazgos y recomendaciones de la Consulta de Expertos FAO 2011 sobre la evaluación de la calidad de las proteínas en nutrición humana

---

### 4.1. SIGNIFICADO Y CONVENIENCIA DE LOS PDCAAS EN LA PRÁCTICA Y TRUNCAMIENTO DE LOS PDCAAS

Existe un interés creciente sobre los efectos metabólicos de los aminoácidos individuales específicos de la dieta, y por esta razón es importante disponer de una información exacta de las cantidades contenidas en las proteínas alimentarias de aminoácidos digeribles o preferiblemente biodisponibles. **Se recomienda, por tanto, que los aminoácidos de la dieta se traten como nutrientes individuales y, hasta donde sea posible, que los datos sobre los aminoácidos digeribles o biodisponibles sean proporcionados en las tablas de alimentos sobre la base de su individualidad.**

En el contexto de las dietas completas y la adecuación nutricional de una proteína de un alimento o de una mezcla de proteínas alimentarias, la cuantificación del valor nutricional de una proteína debe reflejar su capacidad para satisfacer las necesidades metabólicas de los aminoácidos individuales y del nitrógeno. Una vez más, la proteína de la dieta debería considerarse como una fuente de aminoácidos en su calidad de nutrientes individuales. El objetivo de la Puntuación de Aminoácidos es predecir la calidad de las proteínas en términos de su capacidad potencial para proporcionar el patrón adecuado de los aminoácidos indispensables de la dieta. La capacidad real de la proteína para satisfacer las necesidades de aminoácidos requiere la corrección por su digestibilidad y disponibilidad. Aunque no se discuten los principios generales inherentes al cálculo de los valores de los PDCAAS, el uso de un simple valor de la digestibilidad de una proteína cruda para corregir la cantidad de cada aminoácido indispensable individual por su digestibilidad se considera una limitación, ya que hay importantes diferencias cuantitativas entre la digestibilidad de la proteína cruda y la de los aminoácidos individuales dispensables e indispensables. En este caso, la exactitud en el cálculo de la Puntuación de Aminoácidos puede aumentarse usando los datos apropiados de digestibilidad o biodisponibilidad para cada aminoácido indispensable. Se necesita, por tanto, la utilización total de la información actualmente disponible. Una limitación adicional inherente al uso de los PDCAAS es que la corrección para la digestibilidad está basada en la estimación de la digestibilidad de la proteína cruda determinada sobre la totalidad del tracto digestivo (es decir, digestibilidad fecal). Aunque, como se ha discutido anteriormente

(Sección 3), tanto la digestibilidad ileal como la fecal están sujetas a limitaciones importantes, la Consulta concluyó que el balance sobre la digestibilidad de proteína o aminoácidos determinada a nivel de la terminación del intestino delgado (es decir, íleon terminal, digestibilidad ileal) se considera que refleja mejor la cantidad del aminoácido absorbido. Basándose en estas consideraciones, se recomienda una nueva medida de la calidad de la proteína (*Digestible Indispensable Amino Acid Score: DIAAS*) (Puntuación de los aminoácidos indispensables digestibles) para reemplazar a los PDCAAS.

### **Puntuación de aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS)**

Como la digestibilidad de una proteína no siempre refleja la digestibilidad de los aminoácidos individuales indispensables, debe utilizarse una puntuación basada en la digestibilidad individual de los aminoácidos indispensables de la dieta.

**Se recomienda que se utilice una puntuación revisada denominada Puntuación de los aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS), que se define como sigue:**

$$\% \text{ DIAAS} = 100 \times [(\text{mg del aminoácido de la dieta indispensable digestible en 1 g de la proteína de la dieta}) / (\text{mg del mismo aminoácido en 1 g de la proteína de referencia})].$$

La digestibilidad debería basarse en la digestibilidad ileal verdadera (es decir, determinada al final del intestino delgado) de cada aminoácido realizada preferiblemente en humanos (Gaudichon *et al.*, 2002; Moughan, 2003; Fuller y Tomé, 2005). Si esto no es posible, se podría determinar en cerdos en crecimiento (Stein *et al.*, 2007) o en ratas en crecimiento (Moughan *et al.*, 1984), en este orden. Cuando no se disponga de datos sobre la digestibilidad de los aminoácidos, se asume que esta digestibilidad es equivalente a la de la proteína cruda. En estos casos son preferibles los datos sobre digestibilidad ileal verdadera de la proteína, pero si estos datos no están disponibles se puede utilizar la digestibilidad fecal verdadera de la proteína. Se reconoce que la digestibilidad de los aminoácidos puede variar mucho entre alimentos o ingredientes de alimentos. Sin embargo, no resulta práctico realizar bioensayos a todos los lotes de un alimento por lo que se permite el uso de los datos medios contabilizados. Sin embargo, cuando se trate de un nuevo cultivo, subproducto alimenticio o alimento, se debería realizar un ensayo *in vivo* de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos.

**Los patrones de puntuación de aminoácidos recomendados (es decir, patrones de aminoácidos de la proteína de referencia) en el cálculo de la calidad de la proteína para la evaluación de la dieta son los siguientes:**

- **Lactantes (desde el nacimiento hasta los 6 meses), el patrón de la leche materna (como se indica en las Tablas 4 y 5)**
- **Niños pequeños (de 6 meses hasta los 3 años) el patrón para niños lactantes mayores de 6 meses (como se indica en la Tabla 5)**
- **Niños mayores, adolescentes y adultos, el patrón para niños entre 3 y 10 años (como se indica en la Tabla 5)**

**Para fines reglamentarios, se recomiendan dos patrones de puntuación: la composición en aminoácidos de la leche materna para las fórmulas de los lactantes; y el patrón para los niños pequeños (6 meses hasta los 3 años), tal como se señala en la Tabla 5, para todos los demás alimentos y grupos de población.**

Debe calcularse la relación para cada aminoácido indispensable de la dieta. El valor más bajo corresponde al DIAAS y se utiliza como indicador de la calidad de las proteínas de la dieta. Los valores de los DIAAS pueden estar por debajo (o en algunas circunstancias, por encima) del 100 %. Los valores por encima del 100 % no deben ser truncados, como se hace cuando se trata de los PDCAAS, excepto cuando se calculen los DIAAS para ingestas de aminoácidos o proteínas con dietas mixtas o alimentos como fuente exclusiva (véase más adelante).

En la Sección 2 del informe se muestran ejemplos de cálculos para alimentos, y para comidas y dietas con ingredientes múltiples.

### **Aplicaciones prácticas de los DIAAS**

Los DIAAS se utilizan con tres finalidades:

- Cálculo de los DIAAS para satisfacer las necesidades de proteína de calidad en el caso de las dietas mixtas, ya que los humanos consumen proteínas procedentes de fuentes diversas.
- Para documentar los beneficios adicionales de fuentes individuales de proteínas de puntuaciones altas al complementar con otras proteínas de menor valor nutricional.
- Para fines reglamentarios, para clasificar y supervisar la adecuación de las proteínas de alimentos y productos alimentarios vendidos a los consumidores.

Cuando se examina la calidad de las proteínas en las dietas mixtas o en alimentos como única fuente (por ejemplo, fórmulas infantiles), los DIAAS se utilizan para estimar la ingesta de proteína disponible. Los DIAAS pueden ser utilizados para ajustar la ingesta de proteína alimentaria a los requerimientos (es decir, ingesta segura de cualquier dieta en relación a la proteína = requerimientos seguros de proteína/valor DIAAS de la dieta).

En estos casos no se deben utilizar nunca valores > 100 %, ya que ello significaría que para las dietas de “calidad alta” basadas en huevos o leche, por ejemplo, para las que los valores de los DIAAS de las proteínas individuales pueden exceder del 100 %. En este caso, la ingesta segura de esa dieta sería menor del nivel de requerimientos seguros, aunque estos requerimientos pueden haberse establecido con huevos o leche en primer lugar.

Cuando se examina la ingesta proteica de dietas mixtas o de alimentos como única fuente (por ejemplo, fórmulas infantiles) los DIAAS y el contenido proteico pueden utilizarse para estimar la ingesta de proteína disponible. Los DIAAS pueden utilizarse como medio para definir la ingesta de equivalentes de proteína (adecuación de la proteína), cuando se multiplica por la ingesta o por el contenido proteico verdadero (es decir, ingesta de proteína medida a través del tiempo mediante los DIAAS). Sin embargo, la ingesta proteica puede ser corregida

para su calidad utilizando los DIAAS solamente cuando sean  $\leq 100$  pero no mayores. Los DIAAS no deberían ser utilizados para exagerar el contenido proteico aparente del alimento o la dieta.

Los DIAAS pueden utilizarse para valorar la calidad de ingredientes simples o alimentos individuales al considerar su complementación. Un valor de DIAAS superior a 100 indica su potencial para complementar a una proteína de menor calidad siempre que se mantenga una ingesta de N conveniente. Para alimentos individuales o ingredientes alimentarios, el hecho de no truncar la puntuación permite el cálculo fácil de la calidad de las proteínas en dietas mixtas. El propio valor de DIAAS de una dieta mixta debería ser truncado.

#### 4.2. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE LOS DIAAS Y EXPRESIÓN DEL CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DIGESTIBLES DE LOS ALIMENTOS

##### Contenido en aminoácidos digestibles

El contenido de los alimentos en aminoácidos (AA) digestibles (digestibilidad ileal verdadera) puede expresarse de varias formas:

- mg AA por gramo de alimento (sobre la base de “como tal” o “como se consume)
- o
- mg AA por gramo de materia seca del alimento (secado al horno)
- o
- mg AA por gramo de proteína del alimento.

Este último modo de expresión es el que se requiere para el cálculo de los DIAAS (ver más adelante).

##### Cálculo de los DIAAS

Esta puntuación de aminoácidos indispensables digestibles en la dieta (DIAAS) para un alimento o ingrediente del mismo se puede obtener a partir del contenido en aminoácidos indispensables digestibles (DIAA) en 1 g de proteína del alimento y la proporción con el IAA (aminoácido indispensable). Estos valores pueden calcularse utilizando las ecuaciones siguientes:

##### Contenido en IAA digestible para cada IAA en 1 g de proteína del alimento

*Contenido en IAA digestible* = mg de IAA en 1 g de proteína del alimento multiplicado por el coeficiente de digestibilidad ileal verdadera para el mismo aminoácido indispensable de la dieta (el coeficiente de digestibilidad es el valor del porcentaje dividido por 100. Por ejemplo, si la digestibilidad es = 90 %, el coeficiente =  $90/100 = 0.90$ ;

### **Relación del IAA digestible de referencia para cada IAA**

*Relación del IAA digestible de referencia = contenido del IAA digestible en 1 g de proteína del alimento (mg/mg del mismo aminoácido indispensable en 1 gramo de la proteína de referencia (patrón de puntuación de aminoácidos).*

### **Puntuación del IAA digestible (DIAAS)**

Para un patrón de aminoácidos de una proteína de referencia (patrón de puntuación de aminoácidos), el valor de DIAAS es el más bajo calculado en relación con el DIAA de referencia, expresado como porcentaje (es decir, el IAA con la proporción más baja de la referencia; relación x 100).

Por tanto, el valor de DIAAS se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ DIAAS} = 100 \times \text{valor más bajo [(mg del aminoácido indispensable de la dieta digestible en 1 g de la proteína de la dieta) / (mg del mismo aminoácido en 1 g de la proteína de referencia)]}.$$

o

$$\% \text{ DIAAS} = 100 \times \text{valor más bajo ("Proporción con el IAA digestible de referencia" para un patrón de puntuación de un aminoácido determinado)}.$$

*Tener en cuenta que la diferencia principal entre los DIAAS y los PDCAAS es que para los DIAAS se utiliza la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos indispensables de la dieta en vez de la simple digestibilidad fecal de la proteína cruda.*

### **Ejemplo de cálculo de los DIAAS para un ingrediente simple de los alimentos**

Consultar la Tabla 1.

### **Ejemplo de cálculo de DIAAS para una mezcla de alimentos**

Consultar la Tabla 2.

## **4.3. ANTECEDENTES DE LA VALIDEZ DEL PATRÓN DE PUNTUACIÓN DE LOS AMINOÁCIDOS**

### **Definición de patrón de puntuación de aminoácidos indispensables para su uso en el cálculo de los DIAAS desde la infancia hasta la edad adulta**

Se hizo especial hincapié en la exactitud de las estimaciones actuales de los patrones de aminoácidos indispensables de la dieta (ver Millward, 2012 a, b). Se realizaron discusiones en el contexto del modelo global del metabolismo proteico en humanos (referido en la Figura 1) y en el marco de las consecuencias a corto y largo plazo de la calidad proteica sobre la salud (referido en la Figura 2). El Comité hizo notar los conocimientos recientes sobre los cambios trans-generacionales a largo plazo debidos a la ingesta de la proteína alimentaria durante el

embarazo y en la generación F<sub>0</sub> en ratas (Hoile *et al.*, 2011) y en humanos (Waterland *et al.*, 2010).

**TABLA 1.**  
**Cálculo del valor de puntuación aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS) para leche entera en polvo (Whole Milk Powder: WMP)**

Peso (g)	Datos de Composición <sup>1</sup>				Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos indispensables (IAA) <sup>1</sup>				Contenido digestible ileal verdadero de IAA en WMP <sup>2</sup>				
	Protein (g/100g)	Lys	SAA (mg/g proteína)	Thr	Trp	Lys	SAA <sup>5</sup>	Thr	Trp	Lys	SAA (mg/g proteína)	Thr	Trp
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	CXG	DxH	ExI	FxJ
100	28	78	35	44	13	0.95	0.94	0.90	0.90	74	33	40	12
Leche en polvo													
Grupo de edad (a)	Patrón de IAA de referencia: mg/g (consultar la Tabla 5 del informe)				<sup>3</sup> Relación de referencias de IAA digestibles				<sup>4</sup> DIAAS para WMP (%)				
	Lys	SAA	Thr	Trp	Lys	SAA	Thr	Trp	Lys	SAA	Thr	Trp	
Lactantes (recién nacidos a 6 meses)	69	33	44	17	1.07	1.00	0.91	0.69	69 (Trp)				
Niños (de 6 meses a 3 años)	57	27	31	8.5	1.30	1.22	1.29	1.41	122 (SAA)				
Niños mayores, adolescentes, adultos	48	23	25	6.6	1.54	1.43	1.60	1.82	143 (SAA)				

<sup>1</sup> Referencia: CVP Feed Tables (Tablas de composición de alimentos CVP) (2007). Chemical compositions and nutritional values of feed ingredients. Product Board Animal Feed, CVP, The Hage. Los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos indispensables (IAA) se basan en la predicción para los humanos a partir de los datos obtenidos en cerdo.

<sup>2</sup> A modo de ejemplo, se muestran los cálculos para cuatro aminoácidos. Si fuera posible, se deberían incluir en los cálculos todos los IAA.

<sup>3</sup> La proporción entre el IAA digestible con el de la proteína de referencia (IAA digestible en 1 g de proteína de leche entera en polvo/ mg el mismo aminoácido en 1 g de la proteína de referencia).

<sup>4</sup> Valor de los DIAAS para leche entera en polvo (valor más bajo de "la proporción entre el IAA digestible con el de la proteína de referencia" expresado como porcentaje para cada patrón de referencia. Los lactantes tienen un valor calculado de DIAAS para la leche entera en polvo de 69; a los niños les corresponde un valor de 122; y para niños mayores, adolescentes y adultos, un valor de 143.

<sup>5</sup> Este es el valor medio de los coeficientes de digestibilidad para la metionina y la cisteína.

Lys = lisina; SAA = sulphur amino acids (aminoácidos azufrados: metionina + cisteína); Thr = treonina; Trp = triptófano.

**TABLA 2.**  
**Cálculo del valor de puntuación de aminoácidos indispensables digeribles(DIAAS) para una mezcla de trigo, guisantes y leche entera en polvo**

Grupo de edad	Composición <sup>1</sup>										Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos indispensables (IAA) <sup>1</sup>				Contenido digerible ileal verdadero de IAA en la mezcla <sup>2</sup>				4DIAAS para la mezcla (%)	
	Peso (g)	Proteína (g/100g)	(mg/g protein)								Lys	SAA	Thr	Trp	Contenido proteico en la mezcla (g)	Lys	SAA <sup>5</sup>	Thr		Trp
			A	B	C	D	E	F	G	H										
Trigo	400	11	28	38	29	12	0.82	0.895	0.86	0.91	44	1 010	1 488	1 097	480					
Guisantes	100	21	71	25	37	9	0.79	0.69	0.73	0.66	21	1 178	362	567	125					
Leche en polvo	35	28	78	35	44	13	0.95	0.94	0.90	0.90	10	726	322	388	115					
Totales	535										75	2 914	2 172	2 052	720					
Aminoácidos: mg/g proteína (total de cada aminoácidos / proteína total)																				
Grupo de edad	Patrón de referencia: mg/g de proteína (consultar la Tabla 5 del informe)																			
	Lys	SAA	Thr	Trp																
Lactantes (recién nacidos hasta 6 meses)	69	33	44	17																
Niños (6 meses hasta 3 años)	57	27	31	8.5																
Niños mayores, adolescentes, adultos	48	23	25	6.6																
															3Relación de referencia de aminoácidos indispensables (IAA) digeribles					
															Lys	SAA	Thr	Trp		
															0.56	0.88	0.62	0.56		
															0.68	1.08	0.88	1.13		
															0.82	1.26	1.10	1.45		

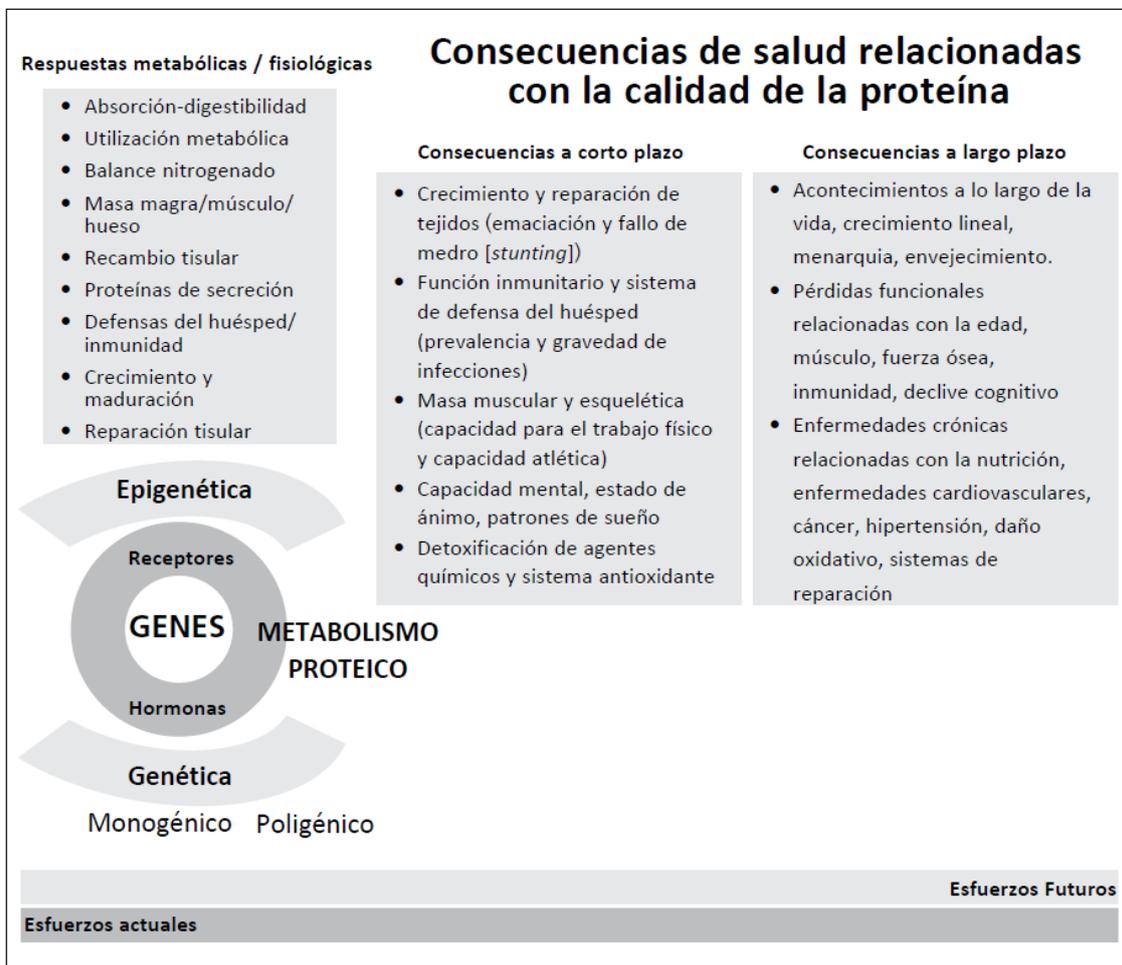
<sup>1</sup> Referencia: CVP Feed Tables (Tablas de composición de alimentos CVP) (2007). Chemical compositions and nutritional values of feed ingredients. Product Board Animal Feed, CVP, The Hage. Los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos indispensables (IAA) se basan en la predicción para los humanos a partir de los datos obtenidos en cerdo.

<sup>2</sup> A modo de ejemplo, se muestran los cálculos para cuatro aminoácidos. Si fuera posible, se deberían incluir en los cálculos todos los IAA.

<sup>3</sup> La proporción entre el IAA digerible con el de la proteína de referencia (IAA digerible) en 1 g de proteína de leche entera en polvo/ mg el mismo aminoácido en 1 g de la proteína de referencia). <sup>4</sup> Valor de los DIAAS para leche entera en polvo (valor más bajo de "la proporción entre el IAA digerible con el de la proteína de referencia" expresado como porcentaje para cada patrón de referencia. Los lactantes tienen un valor calculado de DIAAS para la leche entera en polvo de 69; a los niños les corresponde un valor de 122; y para niños mayores, adolescentes y adultos, un valor de 143.

<sup>5</sup> Este es el valor medio de los coeficientes de digestibilidad para la metionina y la cisteína. Lys = lisina; SAA = sulphur amino acids (aminoácidos azufrados: metionina + cisteína); Thr = treonina; Trp = triptófano.

**FIGURA 2.** Esquema representativo del potencial a corto y largo plazo de la calidad de las proteínas en relación a los resultados sobre la salud. Esto indica la necesidad de buscar más allá de las respuestas fisiológicas y metabólicas al valorar los efectos sobre la salud



Se recomendó la composición en aminoácidos de la leche humana para predecir la calidad proteica de los alimentos para lactantes, tal como se considera en la sección siguiente. Para otros grupos de edad se recomendaron los patrones de puntuación desarrollados y publicados en la FAO/WHO/UNU (2007). Los valores para edades superiores a los 6 meses se muestran en la Tabla 3. Debe señalarse que en la tabla correspondiente del informe de 2007 se han encontrado pequeños errores de cálculo para el grupo de los niños de 3 a 10 años, errores que se han corregido en la presente tabla.

El estudio de los patrones de puntuación en relación con el crecimiento sugiere que deben utilizarse tres patrones (referidos en la Tabla 5). **Los patrones de puntuación de aminoácidos recomendados para calcular la calidad de las proteínas para la valoración de la dieta son los siguientes:**

- **Lactantes (desde el nacimiento hasta los 6 meses), patrón de la leche materna**
- **Niños pequeños (desde los 6 meses hasta los 3 años), patrón para los niños mayores de 6 meses.**

• **Niños mayores, adolescentes y adultos, patrón para los niños de 3 a 10 años.**

Para fines reglamentarios, se recomiendan dos patrones de puntuación: la composición en aminoácidos de la leche humana para las fórmulas infantiles, y el patrón para los niños pequeños (de 6 meses hasta 3 años) para los otros grupos de edad (referido en la Tabla 5 de este informe).

**TABLA 3.** Patrones de puntuación de aminoácidos para niños de corta edad, niños, adolescentes y adultos (valores corregidos del informe WHO/FAO/UNU de 2007)

			His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
Patrón de aminoácidos tisulares (mg/g proteína) <sup>1</sup>			27	35	75	73	35	73	42	12	49
Patrón de aminoácidos de mantenimiento (mg/g proteína) <sup>2</sup>			15	30	59	45	22	38	23	6	39
Requerimientos proteicos (g/kg/d)											
Edad (a)	Mantenimiento	Crecimiento <sup>3</sup>	Requerimientos de aminoácidos (mg/kg/d) <sup>4</sup>								
0.5	0.66	0.46	22	36	73	63	31	59	35	9.5	48
1-2	0.66	0.20	15	27	54	44	22	40	24	6	36
3-10	0.66	0.07	12	22	44	35	17	30	18	4.8	29
11-14	0.66	0.07	12	22	44	35	17	30	18	4.8	29
15-18	0.66	0.04	11	21	42	33	16	28	17	4.4	28
>18	0.66	0.00	10	20	39	30	15	25	15	4.0	26
			Patrón de puntuación (mg/g) requerimiento de proteína <sup>5</sup>								
0.5			20	32	66	57	27	52	31	8.5	43
1-2			18	31	63	52	25	46	27	7	41
3-10			16	30	61	48	23	41	25	6.6	40
11-14			16	30	61	48	23	41	25	6.6	40
15-18			16	30	60	47	23	40	24	6.3	40
>18			15	30	59	45	22	38	23	6.0	39

His, histidina; Ile, isoleucina; Leu, leucina; SAA, aminoácidos azufrados (sulphur amino acids); AAA, aminoácidos aromáticos (aromatic amino acids); Thr, treonina; Trp, triptófano; Val, valina

<sup>1</sup>Composición en aminoácidos de la proteína corporal total.

<sup>2</sup>Patrón de mantenimiento para adultos.

<sup>3</sup>Calculado como valores medios de acuerdo con la franja de edad: crecimiento ajustado para una utilización de proteína del 58 %.

<sup>4</sup>Total del contenido en aminoácidos en los requerimientos dietéticos para el mantenimiento (proteína de mantenimiento x patrón de puntuación para el adulto) y crecimiento (deposición tisular ajustada a la eficiencia dietética de utilización del 58 % x patrón del tejido).

<sup>5</sup>Requerimientos de aminoácidos/ requerimiento de proteínas para los grupos de edad seleccionados. Tener en cuenta que estos valores, algunos de los cuales son rectificadas ligeramente a partir del informe del 2007, son los valores calculados correctamente. En el informe publicado, el valor de los requerimientos de aminoácidos azufrados (SAA) para los niños entre los 3 y los 10 años de edad es incorrecto (18 mg/kg/día) al igual que los patrones de SAA para los niños en edad preescolar y escolar hasta los 10 años (28, 26 y 24 mg/g de proteína).

### Patrón de la leche materna

La composición en aminoácidos de la leche humana ha sido utilizada como referencia para definir los patrones de puntuación de los alimentos infantiles (FAO/WHO/UNU, 2007). La demanda metabólica de aminoácidos en el recién nacido no se conoce con certeza. Por otra parte, el patrón de aminoácidos de la leche humana no es necesariamente el mismo que el patrón de los requerimientos. De hecho, la ingesta de aminoácidos procedentes de la leche materna es de manera muy probable excesiva en relación a la demanda real por dos razones.

En primer lugar, tal como se consideró en el informe de la FAO/WHO/UNU (2007), varios cálculos de la demanda adecuada de aminoácidos para el recién nacido indican que esta demanda es menor que la ingesta a partir de la leche materna (Dewey *et al.*, 1966). En efecto, los valores para cada aminoácido en los patrones de requerimientos a los 6 meses, calculados por la FAO/WHO/UNU (2007) basados en el modelo factorial de mantenimiento y crecimiento, son en término medio un 30 % menores. En segundo lugar, la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de la leche materna en el niño puede ser menor del 100 %. Los valores reales no se conocen, aunque se han señalado valores en estudios utilizando cerdos alimentados con biberón como modelo, en los que se han mostrado para la digestibilidad de los aminoácidos de la leche humana entre 81-100 % (Darragh y Moughan, 1998). Sin embargo, teniendo en cuenta que la ingesta de leche procedente de madres sanas y bien nutridas se considera adecuada para satisfacer los requerimientos proteicos en los primeros 6 meses de vida, se considera que el contenido en aminoácidos de la leche materna es recomendable como mejor estimación de los requerimientos en aminoácidos para este grupo de edad. Las cantidades de aminoácidos en la leche materna humana corregidas por su digestibilidad ileal verdadera pueden proporcionar una información útil acerca del patrón de aminoácidos requeridos por los lactantes.

Las cantidades de cada aminoácidos indispensables de la dieta en la leche humana se muestran en la Tabla 4 son los relacionados por la FAO/WHO/UNU (2007), obtenidos de los

**TABLA 4.**  
Perfil de aminoácidos dietéticos  
esenciales de la leche humana<sup>1</sup>

Aminoácido* (mg/g proteína total)	
His	21
Ile	55
Leu	96
Lys	69
Met + Cys	33
Phe + Tyr	94
Thr	44
Trp	17
Val	55

<sup>1</sup> Valores tomados de FAO/WHO/UNU (2007)

\* Abreviaturas de tres letras usadas para los aminoácidos (His, histidina; Ile, isoleucina; Leu, leucina; Lys, lisina; Met; metionina. Cys, cisteína; Phe, fenilalanina; Tyr, tirosina; Thr, treonina; Trp, triptófano; Val, valina.

informes publicados por Heine *et al.*, 1991, Davis *et al.*, 1994, y Villalpando *et al.*, 1998). Estos valores se han calculado a partir del contenido en aminoácidos de las proteínas de la leche materna, estimándose que las proteínas constituyen el 75 % del nitrógeno total, ya que el nitrógeno no proteico es del 25 %. Para los niños destetados a partir de los 6 meses y para niños mayores son más apropiados los patrones de puntuación que se muestran en la Tabla 5, basados en los de la Tabla 3 para varios grupos de edad.

### Patrón para la edad preescolar, niños mayores y adultos: perspectiva histórica

El uso del patrón de requerimientos de aminoácidos de los niños en edad preescolar para evaluar la calidad de las proteínas para los demás grupos de edad, exceptuando a los lactantes, se basa en los resultados de la Consulta Conjunta de Expertos FAO/WHO de 1991 (ver Millward, 2012b). En ese tiempo, la información disponible sobre los patrones de requerimientos en aminoácidos había sido resumida en el informe de 1985, en el constaban datos sobre lactantes, niños en edad preescolar, niños mayores y adultos. Tanto en el caso de los niños en edad preescolar como escolar, este informe hacía consideraciones sobre las deficiencias y limitaciones de la información disponible. La Consulta de 1991, a la que se le

había pedido un informe sobre la evaluación de la calidad de la proteína, volvió a examinar los valores de los requerimientos de aminoácidos identificados en el informe de 1985. En el nuevo informe se argumentó que los valores de requerimientos en aminoácidos para adultos eran demasiado bajos y no era aconsejable su uso en patrones de puntuación para la evaluación de la calidad de las proteínas en este grupo de edad. Mientras que los valores para los niños en edad escolar se consideraron defectuosos, los valores descritos para los niños en edad preescolar se adoptaron basándose en un patrón de puntuación en el contexto de una metodología que incluye la corrección de la puntuación de los aminoácidos por la digestibilidad de la proteína para todas las edades, como medida provisional hasta que se puedan definir valores más satisfactorios.

**TABLA 5. Patrones de puntuación de aminoácidos recomendados para lactantes, niños, niños mayores, adolescentes y adultos**

Grupo de edad	His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
	<i>Patrón de puntuación mg/g requerimiento de proteína</i>								
Lactantes (recién nacido hasta 6 meses) <sup>1</sup>	21	55	96	69	33	94	44	17	55
Niños (6 meses hasta 3 años) <sup>2</sup>	20	32	66	57	27	52	31	8.5	43
Niños mayores, adolescentes, adultos <sup>3</sup>	16	30	61	48	23	41	25	6.6	40

<sup>1</sup> La recomendación para los lactantes está basada en el contenido bruto de aminoácidos de la leche humana tal como se describe en la Tabla 4.

<sup>2</sup> Los valores para el grupo de los niños a partir de los 6 meses (0,5 años) están tomados de la Tabla 3.

<sup>3</sup> Los valores para niños mayores, adolescentes y adultos corresponden a los valores para edades entre 3 y 10 años tal como se describen en la Tabla 3.

La Consulta de Expertos WHO/FAO/UNU de 2007 dirigió un análisis crítico detallado de los valores de los requerimientos de aminoácidos publicados para lactantes, niños y adultos, así como de los procedimientos metodológicos utilizados para su obtención (ver Millward, 2012a). El informe de este comité ratificó el de 1985 al recomendar el contenido en aminoácidos de la leche materna como la mejor estimación de los requerimientos en aminoácidos de los lactantes, pero no fue capaz de establecer de manera fidedigna los valores de requerimientos de otros grupos de edad, aparte de los adultos. Por lo que se refiere a los requerimientos de niños en edad preescolar, se argumentó que los valores publicados eran difíciles de interpretar. No habían sido revisados por pares y derivaban de un informe que proporcionaba datos incompletos sobre su origen. En particular, los detalles limitados que se proporcionaron (por ejemplo, para la lisina) sugerían un ritmo de captación de nitrógeno varias veces mayor del esperado para estos niños, correspondiendo mucho más a las necesidades de los lactantes, cuyo crecimiento es mucho más veloz. Se adoptó, por tanto, un enfoque factorial para lactantes y niños, basado en el requerimiento de aminoácidos para el mantenimiento y el crecimiento. Se asumió que el mantenimiento se caracteriza por el mismo patrón de aminoácidos para todas las edades sobre la base de mg/kg de peso corporal, por lo que se adoptó el patrón de requerimientos de los adultos. Por lo que se refiere al crecimiento, se asumió que éste refleja el patrón de aminoácidos de la proteína tisular humana. Sobre esta base se obtuvieron los patrones de requerimiento de aminoácidos para los niños de edades 0.5, 1-2, 3-10, 11-14, 15-18 años y para los adultos.

## **Cálculo de los patrones de puntuación a partir de los valores de los requerimientos de aminoácidos**

El patrón de puntuación para la evaluación de la calidad de las proteínas se calcula en base a la relación entre los requerimientos de aminoácidos y los de proteína (es decir, se expresa como mg de aminoácido por g de proteína). Por tanto, la magnitud del denominador, el requerimiento de proteína, influye en la magnitud de cada aminoácido dentro del patrón de puntuación y, consecuentemente, hasta qué punto el patrón informa si la proteína alimentaria es adecuada o deficiente en cada aminoácido (Millward, 2012b). Informes previos sobre los requerimientos de proteínas y aminoácidos (FAO/WHO, 1973; WHO, 1975) habían definido estos patrones de puntuación a partir de los valores de los requerimientos de aminoácidos expresados en relación a los requerimientos seguros de proteína sobre la base de que los valores de aminoácidos representaban el rango superior de estos requerimientos. Aunque este tema no fue discutido específicamente en el informe de 2007 al calcular el patrón de requerimientos, fue empleado para la estimación de los aminoácidos indispensables de la dieta como valores medios de requerimiento y, por tanto, para calcular el patrón con la media de los requerimientos totales de proteína, 0.66 g/kg para el adulto.

Se puede argumentar (Millward, 2012b) que aunque los valores de los requerimientos para cada aminoácido señalados en el informe de 2007 fueron seleccionados como las mejores estimaciones a partir de un rango de valores diferentes, algunos más altos y algunos más bajos que los seleccionados, ellos representaban los valores medios de modo que el denominador en el patrón debería ser la media de los requerimientos proteicos. Un argumento alternativo es que en todos los estudios experimentales realizados con isótopos estables a partir de los cuales se habían obtenido los valores de requerimientos de los aminoácidos habían sido obtenidos en sujetos que habían realizado ingestas de proteína, y muchas más veces aminoácidos purificados, a niveles más altos de la media o incluso de los requerimientos seguros (es decir, 1 g/kg/d). Basándose en la existencia de una demanda metabólica adaptativa en la que los requerimientos varían con la ingesta, los valores obtenidos en estos estudios son probablemente mayores que los requerimientos mínimos, y se relacionan más estrechamente con la ingesta proteica, que es mayor que los valores mínimos indicados por los valores medios de requerimiento proteico. En este caso, la ingesta segura de proteínas sería un valor más apropiado para el denominador del patrón de puntuación.

Es una cuestión importante que el patrón de puntuación calculado a partir de los requerimientos medios de proteína contenga valores para cada aminoácido que sean un 20 % más altos que los calculados con los requerimientos seguros de proteína. Así, proteínas de la dieta valoradas como inadecuadas por el patrón antiguo pueden considerarse adecuadas con el más reciente y viceversa. El informe de 2007 evaluó las implicaciones de los patrones de puntuación obtenidos con el valor de requerimiento medio de proteína para la adecuación y calidad de la ingesta de proteína e identificó una prevalencia significativa de deficiencia proteica en varios grupos de población en los países en desarrollo y desarrollados. Y consideró la posibilidad de que los patrones de puntuación pudieran contener valores para aminoácidos importantes, como la lisina, que fueran demasiado altos. Sin embargo, el informe de 2007 puntualizó que cualquier valoración de riesgo con el fin de identificar la prevalencia de

deficiencias debería aspirar a conseguir un equilibrio aceptable entre el número de falsos positivos y falsos negativos. Además, no se ha obtenido ninguna demostración experimental directa de que el requerimiento para cada aminoácido indispensable de la dieta varíe directamente con la ingesta total de proteína. En este contexto, el comité presente decidió que era mejor sobrevalorar que infravalorar el riesgo y aceptó que el patrón de puntuación debería basarse en los requerimientos medios de proteína más que en los requerimientos seguros.

### Requerimientos óptimos de aminoácidos

La estimación actual de los requerimientos nutricionales de proteínas, tal como se señala en el informe WHO/FAO/UNU (2007), se define como: el menor nivel de ingesta de proteína que equilibre las pérdidas corporales de nitrógeno y, por tanto, pueda mantener la masa proteica corporal (asumiendo que ésta esté a un nivel deseable), en personas en equilibrio energético con actividad física moderada y ninguna necesidad especial para crecimiento, reproducción o lactancia. El informe reconoció que tal definición no identifica necesariamente la ingesta óptima para la salud, que es menos cuantificable y requeriría biomarcadores más específicos y validados. Tras revisar las bases de evidencia para el establecimiento de cualquier relación entre la ingesta proteica y la salud, el informe concluyó: “el conocimiento actual de la relación entre la ingesta proteica y la salud no es suficiente para establecer recomendaciones claras sobre las ingestas óptimas para la salud a largo plazo ni para definir el límite superior seguro”. Estas investigaciones están en marcha y pueden confirmar que se den circunstancias en las que los beneficios aumenten por ingestas que superen los requerimientos mínimos, teniendo en cuenta, especialmente, que la mayor parte de las definiciones de la “dieta saludable” implican ingestas globales de proteína considerablemente más altas que los requerimientos mínimos derivados del equilibrio nitrogenado. En las circunstancias en las que sea apropiado o recomendado un incremento en la ingesta de proteínas o de aminoácidos específicos, es importante que las proteínas tengan un perfil óptimo de aminoácidos para conseguir la respuesta deseada. Además, el patrón de absorción de los aminoácidos puede afectar la respuesta a la proteína ingerida. **Por estas razones, el uso de las estimaciones de las cantidades de los aminoácidos individuales digeribles en una proteína es probablemente el mejor enfoque para determinar la proteína óptima o las combinaciones de proteínas que deben ser utilizadas en cualquier circunstancia.** Este enfoque justifica la posibilidad de que en ciertas circunstancias específicas una proteína particular puede ser más o menos apropiada que lo que refleja su valor de DIAAS.

Uno de los casos en los que se ha sugerido que el aumento de la ingesta proteica sobre los requerimientos mínimos puede tener efectos beneficiosos es el de los ancianos. En estos casos, los beneficios se traducen en aumento de la masa muscular, fuerza y mejores resultados funcionales, y, a su vez, estos beneficios pueden traducirse en una salud mejor (Wolfe, 2012). Hay también circunstancias específicas en las que los jóvenes pueden beneficiarse, como los ancianos, del incremento en la ingesta proteica. Así, la pérdida de grasa en individuos con sobrepeso que siguen una dieta hipocalórica puede ser mayor si la ingesta proteica es relativamente alta. Ello se debe tanto al efecto saciante de la proteína como a su efecto termogénico (Clifton, 2012; Te Morenga y Mann, 2012; Westerterp-Plantenga *et al.*, 2012). Las

ganancias en masa y fuerza muscular son mayores cuando la ingesta proteica por encima de los requerimientos mínimos para mantener el equilibrio nitrogenado se complementa con ejercicio de resistencia (Phillips, 2012). Las personas con inflamación o infección crónica pueden beneficiarse de la ingesta elevada de proteínas, y los efectos de la ingesta calórica por debajo de los niveles óptimos puede ser compensada en cierta extensión por la ingesta elevada de proteínas. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que existen circunstancias en las que la ingesta elevada de proteínas puede tener un riesgo asociado. Un ejemplo es el embarazo. En este caso, se ha sugerido que los requerimientos de proteína identificados en el informe FAO/WHO de 2007, que suponen un incremento de tres veces comparado con las estimaciones anteriores, pueden ser demasiado elevados y suponen un riesgo de consecuencias adversas tanto para la madre como para el niño (Millward, 2012a).

Además de los efectos beneficiosos potenciales de una ingesta proteica por encima de las cantidades necesarias para mantener el equilibrio nitrogenado en determinadas circunstancias, hay casos especiales en los cuales es deseable incrementar la ingesta de aminoácidos específicos. Así, se reconoce que la leucina es un regulador potencial de la síntesis de proteínas en una gran variedad de circunstancias (McNurlan, 2012; Millward, 2012c); por tanto, una ingesta elevada de leucina puede ayudar a vencer la resistencia normal a los efectos anabólicos de la ingesta de proteínas en situaciones clínicas tales como el cáncer. Algunas situaciones de este tipo, como la sepsis, están asociadas a una disminución en la velocidad de síntesis de arginina. En estos casos, el aumento de la ingesta de arginina puede ser beneficiosa porque aumenta la síntesis proteica y favorece la función inmunológica (Jonker *et al.*, 2012).

El comité señaló que las tendencias actuales en la investigación están dirigidas a examinar los niveles de proteína y aminoácidos de la dieta que optimicen determinados aspectos de la salud o funciones orgánicas de personas de diferentes edades y estados fisiológicos, mientras que las investigaciones previas se enfocaban a los requerimientos de proteínas o aminoácidos para conseguir el equilibrio nitrogenado. **En este informe se recomienda considerar a los aminoácidos como nutrientes individuales mediante el establecimiento de las cantidades de cada aminoácido indispensable verdaderamente digestibles (ileal) en los alimentos, considerándose esta visión como un desarrollo muy útil en este contexto.**

#### 4.4. CORRECCIÓN POR LA DIGESTIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN EL CÁLCULO DE LOS DIAAS

##### **Biodisponibilidad de los aminoácidos**

Desde su adopción por FAO/WHO (1991), los PDCAAS han sido ampliamente aceptados. Sin embargo, el método ha sido criticado porque no tiene en cuenta suficientemente la biodisponibilidad de los aminoácidos.

El término “biodisponibilidad” incluye tres propiedades de los alimentos que pueden alterar la proporción en la que un aminoácido puede ser utilizado, estas son:

1. Digestibilidad, que describe la absorción neta de un aminoácido.
2. Integridad química, que describe la proporción en la que un aminoácido, si se absorbe, lo hace en una forma utilizable.
3. Exención de interferencias en el metabolismo como resultado de la presencia en el alimento de sustancias que limitan la utilización del aminoácido.

Entre todas estas propiedades, la principal fuente de variaciones en la biodisponibilidad es la digestibilidad en la mayor parte de los casos.

### **Digestibilidad de los aminoácidos**

Es importante resaltar en primer lugar que la digestibilidad no es un atributo fijo de un alimento sino que refleja la interacción entre el alimento y la persona que lo ingiere, y, por lo tanto, puede estar sujeto a variaciones individuales. El término “digestibilidad de un aminoácido” se utiliza en este informe como la proporción del aminoácido consumido que se absorbe (es decir, que ha desaparecido del tracto digestivo).

En los primeros trabajos, la valoración de la calidad de las proteínas se basaba en la digestibilidad de la proteína cruda determinada sobre el total del tracto digestivo. Este enfoque asume que la digestibilidad de cada aminoácido es la misma que la de la proteína total y que la digestibilidad del aminoácido sobre la totalidad del tracto digestivo es una estimación exacta de su absorción. Sin embargo, observaciones realizadas en animales monogástricos han generado interrogantes acerca de la validez de tales asunciones.

Tal como ha sido revisado por WHO/FAO/UNU (2007) (ver Sección III), la mayor parte del nitrógeno fecal está constituido por proteína microbiana (Mason y Palmer, 1973). Mason *et al.* (1976) estimaron con los datos obtenidos en la excreción fecal del ácido diamino-pimélico (DAPA) que aproximadamente el 90 % del nitrógeno fecal es de origen bacteriano. Estudios posteriores utilizando una gran variedad de marcadores bacterianos han confirmado esta observación. En consecuencia, la composición en aminoácidos de las heces se parece más a la de la proteína microbiana que a la de los residuos no digeridos del alimento, y que la composición en aminoácidos de las heces varía poco con la dieta, aunque el nitrógeno fecal total sí que varía con la masa fecal y la ingesta de NSP (*Non-starch polysaccharide*: polisacáridos distintos del almidón). Se concluyó que los residuos no digeridos de los alimentos que alcanzan el intestino grueso son degradados en gran parte por la actividad microbiana durante su permanencia relativamente larga en el mismo, en la que su nitrógeno puede ser convertido, a través de la síntesis microbiana de aminoácidos, en biomasa microbiana con un perfil de aminoácidos más o menos independiente de su composición inicial.

La segunda observación fue que, aunque el nitrógeno es absorbido a partir del intestino grueso, lo hace principalmente en forma de amonio, habiendo solo una evidencia limitada de la absorción de aminoácidos intactos. La infusión de caseína hidrolizada en el ciego de cerdos hizo aumentar muy poco el nitrógeno fecal (Zebrowska, 1973; 1975; Gargallo y Aimmerman, 1981); la mayor parte del nitrógeno adicional infundido se excretó en la orina, con una pequeña o nula mejora de la retención de nitrógeno. Por otra parte, la infusión en el intestino

grueso de un aminoácido indispensable, del que la dieta era deficiente, mostró poco o ningún beneficio (Darragh *et al.*, 1994; Krawielitzki *et al.*, 1984). Los resultados de estos estudios sugieren que la mayor parte de los esqueletos carbonados de los aminoácidos indispensables de la dieta que entran en el intestino grueso a partir del íleon son perdidos irreversiblemente, ya sea a través del metabolismo microbiano o por excreción en las heces, aunque su nitrógeno puede ser absorbido y utilizado. Sin embargo, tal como se ha discutido previamente (Sección III) y como se indica en la Figura 1, estudios en humanos han mostrado que la hidrólisis de la urea en el intestino grueso y la recuperación del nitrógeno de la urea que retorna al “pool” de nitrógeno amínico del huésped es una parte importante cuantitativamente del metabolismo nitrogenado en este compartimento del tracto digestivo (Jackson, 1998). Ha sido investigado utilizando  $^{15}\text{N}$  hasta qué punto esto puede constituir una fuente nutricionalmente importante de aminoácidos. Claramente, la aparición de proteína marcada con  $^{15}\text{N}$  en el plasma tras la instilación intracecal de proteínas marcadas (por ejemplo, Heine *et al.*, 1987) no constituye una evidencia de la absorción de aminoácidos específicos: la mayor parte de los aminoácidos del organismo pueden incorporar  $^{15}\text{N}$  por transaminación, como se puede observar en el extenso marcaje con  $^{15}\text{N}$  de la proteína corporal tras la administración de  $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$  (Patterson *et al.*, 1995; Metges *et al.*, 1999). Sin embargo, estudios con lactantes humanos han identificado la transferencia de  $^{15}\text{N}$  a partir de urea administrada por vía oral a aminoácidos circulantes (analizados como aminoácidos en orina). Esta transferencia se realizó no solo a aminoácidos tales como glicina, alanina e histidina, sino también a la lisina, que no incorpora nitrógeno por transaminación (Millward *et al.*, 2000a). Además, se ha publicado la transferencia de  $^{15}\text{N}$  a partir de lactosa-ureido por vía oral a la lisina en las proteínas de bacterias fecales y en la orina en adultos normales sanos (Jackson *et al.*, 2004). Esto es muy significativo porque la lactosa-ureido es resistente a la digestión en la parte superior del tracto gastrointestinal pero es fermentada por la microflora colónica con liberación de  $\text{NH}_3$ . Así, la biosíntesis de aminoácidos a partir del nitrógeno procedente de la recuperación de la urea parece ser la fuente de aminoácidos indispensables que pueden incorporarse al “pool” circulante. Hay que hacer notar que las bases de evidencia para estos procesos son actualmente limitadas y que la ruta por la que el nitrógeno de la urea colónica es transferido a la lisina y a otros aminoácidos sistémicos indispensables, no está clara. Sin embargo, estos estudios generan preguntas importantes sobre el metabolismo nitrogenado en el intestino grueso humano, sugiriendo que en este órgano no solo se eliminan aminoácidos indispensables sino que también, en determinadas circunstancias, este órgano puede ser la fuente de estos aminoácidos. Fuller (2012) ha llegado a la conclusión, aun reconociendo que se basa en evidencias limitadas, de que una gran proporción de los aminoácidos de las proteínas de la microbiota del tracto gastrointestinal superior, se incorporan directamente a partir de la dieta o a partir de materiales endógenos en grado superior a su síntesis *de novo*. A pesar de algunas dudas que quedan en relación a la síntesis microbiana de aminoácidos, parece que la composición en aminoácidos de la digesta ileal proporciona la base más aprovechable para estimar la proporción de los aminoácidos de la dieta absorbidos. “A pesar de que la digestibilidad ileal no constituye una medida perfecta de la absorción neta de aminoácidos, está considerablemente más cerca de la medida ideal que la digestibilidad de aminoácidos determinada sobre el total del intestino”, (Fuller, 2012).

Estas observaciones muestran que el proceso de la digestibilidad de los aminoácidos es complejo y no está comprendido totalmente. En general, la Consulta concluyó que la

estimación de los aminoácidos absorbidos a partir de la dieta se obtendría mejor midiendo el flujo de los aminoácidos que salen del intestino delgado; es decir, la digestibilidad ileal (Moughan y Smith, 1985). Sin embargo, como se ha discutido previamente (Sección III), algunos de los aminoácidos que abandonan el íleon no provienen directamente de la dieta sino que son remanentes de secreciones endógenas y material celular (Skilton *et al.*, 1988; Moughan y Rutherford, 2012). Esta pérdida de proteína endógena se produce incluso cuando no se incluyen proteínas en la dieta y representa, por tanto, parte de los requerimientos. Esta cantidad, denominada “pérdida basal endógena”, tiene que ser deducida del flujo ileal de aminoácidos para estimar la contribución de los aminoácidos no absorbidos de la dieta. Cuando se corrige la digestibilidad aparente de los aminoácidos por la pérdida basal endógena, el valor resultante se denomina digestibilidad verdadera (Donkoh y Moughan, 1994). Cuando se corrige la digestibilidad aparente de los aminoácidos mediante la deducción de un valor constante acordado de pérdida basal endógena, el valor resultante se denomina digestibilidad ileal estandarizada (Stein *et al.*, 2007). Las pérdidas endógenas basales de aminoácidos pueden medirse por varios métodos (Moughan *et al.*, 1998; Boisen y Moughan, 1996; Fuller y Tomé, 2005). Las pérdidas endógenas y dietéticas de aminoácidos en el íleon terminal son 0.6-1 g/día y 0.4-0.7 g/día respectivamente (Chacko y Cumming, 1988; Mahé *et al.*, 1992; Rowan *et al.*, 1993; Fuller *et al.*, 1994; Gausserès *et al.*, 1996; Mariotti *et al.*, 1999; Gaudichon *et al.*, 2002; Moughan *et al.*, 2005).

Sin embargo, considerando la proteína en su conjunto, como el nitrógeno absorbido en formas distintas a los aminoácidos puede contribuir a la economía del nitrógeno, resulta más apropiada la medida de la absorción del nitrógeno por el total del tracto digestivo. Esta última medida puede requerir la corrección por las pérdidas endógenas (referidas frecuentemente como nitrógeno metabólico fecal).

**Por tanto, se recomienda, que la valoración de la calidad de las proteínas debe basarse en los valores de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos individuales con preferencia a la digestibilidad total (fecal) de la proteína.**

Esta conclusión se basa en unas revisiones críticas recientes sobre el tema (Fuller, 2012; Fuller y Tomé, 2005; Hendricks *et al.*, 2012; Levesque y Ball, 2012; Moughan, 2003). En la actualidad, existe una cantidad limitada de datos sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos de los alimentos determinados en humanos (Rowan *et al.*, 1994; Gaudichon *et al.*, 2002; Deglaire *et al.*, 2009). Mientras no se disponga de datos en humanos, **se recomienda que se utilicen los valores de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos obtenidos en cerdos pequeños en crecimiento. Y, si no se dispone de estos datos, que se utilicen los obtenidos en ratas de laboratorio en crecimiento.** Por lo que se refiere a las medidas de digestibilidad en lactantes, pueden ser útiles las determinadas en cerdos pequeños alimentados con biberón (Moughan *et al.*, 1990). Aunque se han publicado ecuaciones de regresión que permiten la predicción de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos a partir de los valores obtenidos en cerdos (Deglaire *et al.*, 2009), se ha llegado a la conclusión de que se necesitan más trabajos para incrementar la potencia de estas ecuaciones. Cuando se disponga de una ecuación que permita una predicción exacta, se podrán utilizar los valores de digestibilidad humana obtenidos a partir de los determinados en cerdos. Para aquellos

alimentos de los que no se disponga todavía de valores de digestibilidad ileal ni en humanos, ni en cerdos ni en ratas, se debe recurrir, como la mejor alternativa disponible, a la digestibilidad de la proteína total (fecal).

**Se recomienda que se actualice la publicación de la FAO de 1970 “Contenido en aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre proteínas” de forma continua, incluyendo, cuando estén disponibles, datos de digestibilidad (fecal e ileal) de proteínas, digestibilidad de aminoácidos y DIAAS.** Estas tablas deberían estar disponibles en formato electrónico compatible con las hojas de cálculo propuestas para la obtención de los datos sobre requerimientos de aminoácidos y DIAAS.

En la Consulta de Expertos de 2011 se constituyó un subcomité (formado por Sarwar Gilani, presidente; Daniel Tomé, Paul Moughan y Bárbara Burlingame, *ex officio*) con el fin de recoger los datos disponibles actualmente sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los alimentos para humanos (referencia para el informe del Subcomité en <http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/en> y <http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/63158/en/>). Se constituyó también otro subcomité (formado por Ricardo Uauy, presidente; Joe Millward, Paul Pencharz, Malcolm Fuller y Bárbara Burlingame, *ex officio*) para recibir la colección de datos del primer subcomité y valorar su conveniencia para su aplicación práctica en el cálculo de los valores de los DIAAS y las implicaciones de estos datos para el informe final de la consulta.

Tras la valoración de la base de datos sobre los valores disponibles de la digestibilidad ileal de los aminoácidos, la subcomisión presidida por Ricardo Uauy (referencia del informe final de la subcomisión en: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/en/> y <http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/63158/en/>) concluyó:

1. En principio, la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos es preferible a la digestibilidad fecal de la proteína cruda o de los aminoácidos cuando el propósito sea definir la digestibilidad de los aminoácidos indispensables de la dieta y valorar la calidad de las proteínas de la dieta en humanos.
2. Existe una evidencia importante sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos en ratas y cerdos, pero existen datos limitados sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos determinada en humanos. De hecho, existen pocos estudios comparativos sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos procedentes de la misma fuente proteica en animales (ratas, cerdos) y en humanos. Se necesitan muchos estudios de este tipo para apoyar la puesta en práctica de la digestibilidad ileal en la valoración de la calidad de las proteínas en humanos.
3. Los estudios futuros deberían incluir comparaciones entre los valores de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los diferentes modelos animales (cerdo, rata) y de humanos utilizando fuentes proteicas que sean representativas de las consumidas por las poblaciones humanas.
4. Si los datos obtenidos en estos estudios (tal como se especifica en el punto 3) apoyaran de manera convincente la puesta en práctica de la digestibilidad ileal, debe emprenderse la valoración del impacto potencial de esta recomendación (para usarse en la valoración de

fuentes proteicas individuales así como en dietas mixtas, consumidas habitualmente por los humanos) antes de que se implemente un nuevo modelo de evaluación. Esta evaluación debería incluir las ganancias o pérdidas potenciales en la salud pública como consecuencia de la implementación de las nuevas recomendaciones en la valoración de la calidad proteica en humanos.

**El Comité de Consulta de Expertos aceptó las conclusiones del subcomité y recomendó que la FAO organizara urgentemente un grupo de trabajo para acordar el protocolo experimental que permita la realización con urgencia de los objetivos 3 y 4 que se acaban de mencionar. Recomendó igualmente la implementación de estudios para determinar la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en los diferentes tipos de alimentos y animó encarecidamente a la valoración subsiguiente del impacto potencial de la introducción de tales datos en el contexto de la evaluación de la calidad de las proteínas para los humanos. Hasta que no se disponga de una base de datos acordada sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los alimentos para humanos, la calidad de las proteínas de los alimentos y dietas para humanos deberían valorarse utilizando los DIAAS, pero también deberían utilizarse los valores de digestibilidad de la proteína cruda. Hace falta un apoyo financiero para estas últimas agendas de investigación (comparación entre especies de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos y desarrollo de una base de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de los alimentos para humanos). Se anticipa que este apoyo debe ser proporcionado urgentemente por el sector privado, junto a las agencias técnicas y normativas de las Naciones Unidas, agencias gubernamentales nacionales, bilaterales y multilaterales, y organizaciones para la salud pública. Si no se asignaran a tiempo recursos suficientes para satisfacer los objetivos de estas investigaciones, puede ser necesaria la revisión de la recomendación presente para la aplicación de los DIAAS en la práctica, ya que los DIAAS y las conclusiones de este informe se basan en un sistema de digestibilidad y disponibilidad ileal verdadera de los aminoácidos.**

### **Disponibilidad química de los aminoácidos**

Algunos aminoácidos presentes en los alimentos pueden estar en formas estructurales que no permiten su disponibilidad (es decir, el aminoácido puede ser absorbido en una forma que no permite su utilización). Esto sucede frecuentemente en los alimentos tratados por calor o sometidos a otros procesos intensos (Rutherford y Moughan, 1990; Rutherford y Moughan, 2012). El ejemplo más característico es la formación de los productos originados por la reacción de Maillard, que conducen a la pérdida de la disponibilidad de la lisina. **En el caso de alimentos susceptibles al daño originado por su procesado, se recomienda que se determine el contenido en lisina “reactiva” en vez de la lisina “total”, así como que se determine la digestibilidad ileal verdadera de la lisina reactiva (lisina disponible) en vez de la lisina total (Moughan y Rutherford, 1996; Rutherford *et al.*, 1997b).** La lisina reactiva es aquella en la que el grupo epsilon amino de la molécula no ha sido modificado químicamente y está libre para reaccionar con el correspondiente agente analítico (por ejemplo, fluordinitrobenceno u O-metilisourea).

Otros aminoácidos, especialmente los aminoácidos azufrados, así como triptófano y treonina, pueden ser susceptibles de oxidación, con pérdida de biodisponibilidad. En estos casos se necesita que se desarrollen ensayos tales como el ensayo de la digestibilidad de la lisina reactiva (Moughan y Rutherfurd, 1996).

### **Pérdida de biodisponibilidad debida a la presencia de sustancias interferentes**

Muchos alimentos contienen sustancias bioactivas (proteicas o no proteicas) que pueden modificar la biodisponibilidad de los aminoácidos, sea porque afecten a su digestibilidad o porque afecten a su utilización postabsortiva (Gilani *et al.*, 2012). Muchos alimentos, incluyendo fuentes novedosas de proteínas, pueden contener niveles elevados de factores antinutricionales conocidos. Esto puede ocurrir de manera natural (por ejemplo, taninos, fitatos, inhibidores de tripsina, glucosinolatos, isotiocianatos) o porque se formen durante el procesado (por ejemplo, D-aminoácidos, lisinoalanina) o por modificación genética de los cultivos (por ejemplo, lectinas).

Muchas de estas sustancias pueden afectar a la digestión y deben ser tomadas en consideración en la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos. Otros, como los glucosinolatos, los isotiocianatos, etc., tienen efectos metabólicos más generales y su influencia sobre el metabolismo proteico solo puede detectarse por bioensayos basados en el crecimiento. En aquellos casos en los que exista un problema potencial, se recomienda que se realicen procesados convenientes para minimizar las concentraciones de estas sustancias. Igualmente se recomienda que se incluyan en las dietas los límites de seguridad.

#### **4.5. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL USO DE BIOENSAYOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA**

El valor nutricional de las fuentes de proteína alimentaria depende sobre todo de las cantidades de aminoácidos indispensables biodisponibles y del nitrógeno en el alimento. La biodisponibilidad se refiere a la proporción, en relación a la cantidad total, de los aminoácidos de la dieta que se absorben en una forma que puede ser utilizada para la síntesis de proteínas corporales y para otras rutas que constituyen la demanda metabólica. En los casos en los que hay una ingesta inadecuada de energía o existe una ingesta excesiva de proteínas, los aminoácidos absorbidos pueden ser utilizados en las vías catabólicas para proporcionar ATP con preferencia a la síntesis de proteínas corporales y rutas anabólicas asociadas. Por ello, la biodisponibilidad de los aminoácidos debe evaluarse de forma estandarizada en relación a los contenidos alimentarios en proteína y energía. La disponibilidad de los aminoácidos no es equivalente a su utilización. Los métodos tradicionales desarrollados para determinar la biodisponibilidad de los aminoácidos se han enfocado hacia la absorción intestinal o digestibilidad, que se calcula como la proporción de aminoácidos ingeridos que no aparece en la digesta o en las heces. Se ha hecho un considerable progreso para llegar a la “digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos” y a la “digestibilidad ileal verdadera de la lisina reactiva”. Los métodos basados en la digestibilidad no siempre pueden dar cuenta total de las pérdidas de los aminoácidos endógenos intestinales ni de las pérdidas debidas a los aminoácidos

absorbidos que no son disponibles debido a los procesos térmicos o a la presencia de factores antinutricionales. Por tanto, se necesita aplicar puntualmente bioensayos basados en el crecimiento (tales como el ensayo de “proporción de pendiente”). En algunas circunstancias, como cuando existen dudas sobre la calidad de las proteínas de un alimento o dieta, puede usarse la PER (*Protein Efficiency Ratio*: proporción de eficiencia proteica), aunque debe reconocerse que la demanda de aminoácidos de la dieta para el crecimiento en la nutrición humana es un componente menor o incluso despreciable de la demanda, excepto durante las primeras etapas de la vida. Ésta es una limitación importante en el uso de modelos de animales en crecimiento en la evaluación global de la calidad de las proteínas ya que tales ensayos pueden infravalorar dicha calidad en la nutrición humana. En estos casos se han utilizado ensayos a corto plazo de balance nitrogenado. Sin embargo, estos ensayos carecen de poder discriminatorio (Millward *et al.*, 1989) y dan como resultado bajas eficiencias de utilización no realistas (“*shallow slopes*”) porque se trata de métodos analíticos inapropiados ya que no tienen en cuenta la naturaleza adaptativa de la demanda metabólica (Millward, 2003; 2012a). Se han realizados ensayos de alimentación a largo plazo basados en la composición corporal y el mantenimiento de la capacidad física para evaluar la calidad de las proteínas de alimentos específicos tales como el trigo (Bolourchi *et al.*, 1968; Edwards *et al.*, 1971). Sin embargo, estos ensayos son caros y difíciles de llevar a cabo y se han publicado muy pocos. Deben estudiarse asuntos tales como que la alimentación humana es de naturaleza diurna, lo que implica una síntesis neta postprandial de proteínas para reemplazar las pérdidas postabsortivas, así como la eficiencia de la utilización postprandial de la proteína. Esto, hasta cierto punto, puede utilizarse como una medida de la calidad de las proteínas en humanos. Varios grupos han desarrollado estudios con isótopos estables marcados con este fin.

### **Utilización postprandial de la proteína (PPU)**

Tal como ha sido considerado por Millward y Pacy (1995), la utilización postprandial de la proteína está influenciada tanto por la ingesta energética como por la calidad de la proteína, por lo que se refiere a su capacidad para satisfacer la demanda metabólica. Esto significa que la medida de los cambios agudos en el balance de leucina <sup>13</sup>C-1 durante la transición desde una baja ingesta proteica a una ingesta elevada durante la infusión de leucina <sup>13</sup>C-1 indica la eficiencia de la utilización de la proteína postprandial (PPU). Los valores obtenidos de esta forma son más reales que los obtenidos por los estudios de pendiente del balance nitrogenado, que infravaloran la utilización de la proteína (Millward, 2003; Millward, 2012a). Este enfoque ha sido utilizado para comparar la utilización de la proteína de leche y de trigo en adultos normales con ingestas proteicas habituales. Los datos obtenidos indican que la PPU de la proteína de leche y de trigo era de 1.00 y de 0.68, en ensayos con múltiples comidas pequeñas (Millward *et al.*, 2000b); y de 0.93 y 0.61 en un ensayo con una sola comida abundante (Millward *et al.*, 2002). En cada caso, la proteína de trigo fue utilizada mejor que lo predicho por su contenido en lisina en relación con el contenido en lisina de la proteína tisular humana, posiblemente por la reutilización de la lisina liberada en el estado postabsortivo para el depósito de proteína postprandial. Mientras tales estudios ayudan a comprender la utilización de las proteínas altamente digestibles, son menos apropiadas para evaluar completamente las fuentes de proteínas poco digestibles.

### Utilización postprandial neta de la proteína (NPPU)

Se han utilizado proteínas marcadas con  $^{15}\text{N}$  (leche, aislados proteicos de soja, trigo y carne) para medir el destino metabólico del nitrógeno de la dieta tras su consumo en humanos. El NPPU se calcula utilizando los parámetros de digestibilidad ileal verdadera y de utilización de la proteína marcada en el  $^{15}\text{N}$  (Tomé y Bos, 2000). El marcaje intrínseco de la proteína de la dieta con  $^{15}\text{N}$  permite la investigación de la transferencia de nitrógeno entre los diferentes compartimentos metabólicos. Se toman muestras de la digesta ileal, sangre y orina. La cinética de la aparición del nitrógeno de la dieta en el efluente ileal, proteínas plasmáticas, aminoácidos libres plasmáticos, urea corporal, urea urinaria y amonio urinario se calculan utilizando un modelo de 21 parámetros, 13 compartimentos (Juillet *et al.*, 2006). Los valores de NPPU determinados para leche, aislado proteico de soja y trigo fueron 81 %, 78 % y 66 % respectivamente (Bos *et al.*, 1999; Tomé y Bos, 2000; Mariotti *et al.*, 1999; Bos *et al.*, 2005). Este enfoque también incorpora la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos (Gaudichon *et al.*, 2002).

Este método representa un avance importante en la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta. Sin embargo, solo se debe utilizar con los alimentos que puedan ser marcados intrínsecamente con  $^{15}\text{N}$  y el estudio requiere la recogida de la digesta ileal mediante una técnica de intubación nasointestinal. Por otra parte, los modelos de cálculo son muy complejos (Juillet *et al.*, 2006). Por tanto, este método probablemente no se podrá utilizar de forma rutinaria. Además, la técnica de los NPPU no puede ser utilizada rápidamente para estimar la biodisponibilidad de los aminoácidos individuales.

### Aplicación del método IAAO (Indicador de la oxidación de aminoácidos) para determinar la disponibilidad metabólica (MA) de los aminoácidos

La Técnica del Indicador de la Oxidación de Aminoácidos (IAAO) se basa en el concepto de que cuando un aminoácido indispensable en una dieta (IDAA) es deficiente para la síntesis de proteínas, todos los demás aminoácidos serán oxidados, incluyendo el aminoácido indicador (otro IDAA, usualmente L-(1- $^{13}\text{C}$ ) fenilalanina), (Pencharz y Ball, 2003). Fundamentalmente, esto se debe a que los aminoácidos libres no pueden ser almacenados y, por tanto, tienen que incorporarse a las proteínas o ser oxidados. Al aumentar la ingesta del aminoácido limitante, disminuye la oxidación del aminoácido indicador, lo que refleja el aumento de su incorporación a las proteínas. Una vez que se cumplen los requerimientos del aminoácido limitante no hay más cambios en la oxidación del aminoácido indicador. El punto de inflexión, en el que el decrecimiento de la oxidación del aminoácido indicador se detiene y alcanza una meseta suele denominarse "breakpoint". Este punto, identificado con el uso de análisis de regresión lineal bifásica, indica el promedio o EAR (promedio estimado de requerimientos) del aminoácido limitante (test) (Pencharz y Ball, 2003). Este método IAAO, mínimamente invasivo, ha sido aplicado sistemáticamente para determinar los requerimientos de IDAA en adultos humanos (Pencharz y Ball, 2003; Elango *et al.*, 2008(a); Elango *et al.*, 2008 (b)).

El método IAAO puede aplicarse también para determinar la biodisponibilidad o disponibilidad metabólica (MA) de los aminoácidos (Moehn *et al.*, 2005; Moehn *et al.*, 2007). El

IAAO es inversamente proporcional a la velocidad de la síntesis proteica (Ball y Bayley, 1986; Rafii *et al.*, 2008). Por tanto, para una determinada ingesta de un aminoácido, la diferencia relativa en la proporción del IAAO entre la proteína ensayada y la proteína de referencia será proporcional al MA corporal total del aminoácido ensayado para la síntesis proteica y dará cuenta así de todas las pérdidas de los aminoácidos de la dieta durante la digestión, absorción y metabolismo celular. Puede esperarse, bajo condiciones controladas y para el aminoácido que suele ser frecuentemente el principal limitante, lisina, que la captación prevista de la lisina reactiva (digestibilidad ileal verdadera de la lisina reactiva) a partir del tracto digestivo igualará a la lisina biodisponible determinada usando el método IAAO. Sería interesante también que se hiciera una comparación experimental de este tipo para una serie de alimentos. El enfoque IAAO ha sido utilizado en cerdos para determinar la disponibilidad de los aminoácidos de la dieta asociados a las proteínas (incluyendo lisina, treonina y metionina), y en humanos para la metionina y lisina. Está demostrado que éste es un método práctico para determinar la utilización de los aminoácidos limitantes asociados a las proteínas para la síntesis neta de proteína.

#### 4.6. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE AMINOÁCIDOS Y PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD/BIODISPONIBILIDAD VERDADERA DE LOS AMINOÁCIDOS

##### **Metodología para el análisis de aminoácidos**

En los últimos años se ha conseguido un progreso considerable en el análisis de aminoácidos (Rutherford y Sarwar-Gilani, 2009; Otter, 2012). La Comisión acordó que ningún método de análisis es necesariamente el mejor, por lo que se acepta una cierta variedad de enfoques.

Los aminoácidos se encuentran en los alimentos como aminoácidos libres o como sillares estructurales de las proteínas. El análisis de aminoácidos en los alimentos exige una serie de operaciones: liberación de los aminoácidos de la matriz alimentaria (si están formando parte de proteínas), separación de los aminoácidos individuales y su cuantificación utilizando métodos estándar de calibración.

Cada una de estas etapas tiene sus propias características (por ejemplo, se requieren diferentes condiciones de hidrólisis para la liberación óptima de los diferentes aminoácidos y no todos los aminoácidos tienen una separación de la línea basal para algunos métodos cromatográficos) y hay una diversidad de matrices alimentarias, de tal modo que la mayoría de los laboratorios adaptan los métodos para conseguir las mejores aplicaciones.

En la actualidad, no se dispone de métodos oficiales estandarizados para el análisis de aminoácidos, aunque la AOAC tiene algunos métodos validados para los componentes individuales.

Las técnicas analíticas establecidas de HPLC (IEX o RP) y GCMS han sido complementadas recientemente por una serie de métodos nuevos para la caracterización de los aminoácidos. Estos métodos incluyen la electroforesis capilar (CE), CEMS y UPLC, LCMS y LC con otros detectores.

El Comité acordó que sería útil disponer de una guía sobre los enfoques convenientes (y los errores y defectos correspondientes) basada en métodos estandarizados internacionalmente (incluyendo enfoques sobre hidrólisis, separación, detección y presentación de datos). **El Comité recomendó a la FAO que estableciera un grupo de trabajo formal para revisar las metodologías de los análisis de aminoácidos y proporcionar algunas orientaciones hacia la estandarización internacional.**

#### Ensayos de digestibilidad/biodisponibilidad verdadera de los aminoácidos

**Un grupo de trabajo debería revisar y recomendar las mejores prácticas para la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdos.** Tal ensayo debería reemplazar al ensayo de digestibilidad verdadera fecal de la proteína cruda en rata. Idealmente, debería disponerse de un ensayo rápido *in vitro* de digestibilidad de la proteína para determinar la digestibilidad de los aminoácidos en los alimentos. Se han desarrollado muchos ensayos de este tipo pero ninguno ha sido adecuado, completo y validado de forma independiente. Se necesita urgentemente el desarrollo de un ensayo *in vitro* de digestibilidad de proteínas y aminoácidos estandarizado y validado de forma independiente. La puesta en práctica de los ensayos *in vivo* de biodisponibilidad de aminoácidos y de otros ensayos tales como el ensayo de la proporción de la pendiente es relativamente laboriosa.

#### 4.7. COMPONENTES BIOACTIVOS ASOCIADOS INTRÍNECAMENTE A LAS PROTEÍNAS DE LOS ALIMENTOS, INCLUYENDO LOS QUE SE FORMAN DE MANERA NATURAL Y LOS QUE SE FORMAN DURANTE EL PROCESAMIENTO

Los componentes bioactivos están a veces asociados intrínsecamente a las proteínas de los alimentos. Potencialmente, esto puede tener efectos negativos (por ejemplo, es el caso de los factores antinutricionales, ANFs tales como los inhibidores de la tripsina y los glucosinolatos) o efectos positivos (por ejemplo, los efectos antioxidantes de los polifenoles o ciertos efectos de los péptidos bioactivos liberados durante la digestión de una proteína). Muchos de los efectos negativos de compuestos tales como la fibra vegetal y los ANFs se tienen en cuenta al medir la digestibilidad aparente y la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos (medidas en las que se hace la corrección de las pérdidas basales endógenas de aminoácidos), ya que sus efectos están mediados frecuentemente por el incremento de las pérdidas ileales endógenas de aminoácidos por encima de los valores de las pérdidas basales endógenas. Sin embargo, debe reconocerse que pueden existir factores, tanto positivos como negativos, asociados intrínsecamente a proteínas alimentarias cuyos efectos no se reflejen en los valores de digestibilidad verdadera de aminoácidos o en los valores de los DIAAS. En los casos en los que tales factores puedan ser deletéreos, **se recomienda que se establezcan los límites superiores para el contenido de estos compuestos en las dietas. Se recomienda, además, que el Comité Conjunto de Expertos sobre Aditivos Alimentarios (*Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA*) tome en la consideración debida estos aspectos de seguridad.** Los responsables del procesado de alimentos necesitan ser conscientes de los límites superiores de seguridad y deben asegurar el control de calidad, de manera que en los productos finales del procesado, tales compuestos estén por debajo de estos niveles.

Las funciones de los péptidos bioactivos constituyen un área científica que emerge rápidamente (Rutherford-Marckwick, 2012). Los innumerables efectos potenciales de los péptidos liberados de forma natural durante la digestión no pueden ser, ni debería esperarse que lo fueran, expresados con un valor único de calidad de las proteínas de la dieta tal como los DIAAS. Sin embargo, debe reconocerse su importancia potencial. Se necesita claramente todavía la aplicación de los métodos tradicionales para la evaluación de la calidad de las proteínas alimentaria tales como PER, NPPU, valor biológico, etc. y se necesita comprender los efectos fisiológicos de las proteínas adicionalmente a los efectos directos sobre el metabolismo de la proteína corporal.

#### 4.8. DIAAS - TEMAS REGLAMENTARIOS

**El DIAAS es el método recomendado para la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta con fines reglamentarios, pero debe favorecerse también el uso de los contenidos de aminoácidos digeribles ileales verdaderos para describir los alimentos.**

Cada país tiene sus propias regulaciones (por ejemplo, en Canadá se utiliza la evaluación de la cantidad de proteína en un plato del alimento de referencia multiplicado por el PER). **La recomendación es usar el valor de los DIAAS para la medida de la calidad de la proteína, más que usar otras medidas tales como el PER.**

Para los fines del Codex debe aplicarse una valoración de la calidad que satisfaga las declaraciones sobre proteína. Se recomienda el valor de los DIAAS para la valoración de la calidad de la proteína, y debería darse en conjunto con el valor de la cantidad de la proteína. Los sucedáneos alimentarios no deberían tener un DIAAS menor que la puntuación del alimento real equivalente. Manifestación: el contenido en proteína del alimento debería ser declarado de acuerdo con su determinación por un método analítico apropiado, y la calidad debe determinarse por el DIAAS.

Para hacer una alegación sobre el contenido proteico, este contenido debería determinarse analíticamente, y ser evaluado en su calidad usando el DIAAS. El valor de referencia de nutriente (NRV) para proteínas, recomendado a efectos de etiquetado y a efectos de la estandarización y armonización internacionales es de 50 g.

Para solicitar la alegación nutricional, la fuente de proteína del alimento debe satisfacer los siguientes criterios:

- 10 % de NRV por 100 g (sólidos);
- 5 % de NRV por 100 ml (líquidos);
- o 5 % de NRV por 100 kcal (12 % de NRV por y 1 MJ);
- o 10 % de NRV por ración.

Para calificar: “alto” en proteína, el alimento debe contener dos veces el valor de la “fuente”.

Cuando un alimento satisfaga los criterios de cantidad de proteína, debe realizarse entonces la medida de calidad.

**Debe prepararse una tabla comparativa para los alimentos que establezca los valores de corte para las alegaciones nutricionales de “fuente” y “alto”.**

Los valores de corte de los DIAAS son necesarios para distinguir entre excelente/alto (por ejemplo, 100 ó más), bueno/fuente (por ejemplo, 75/99), y no alegación.

**Se recomienda que no se permitan alegaciones nutricionales de tipo fuente/alto para proteínas con DIAAS menores que un cierto valor de corte (por ejemplo, 75).**

Al valorar la calidad de las proteínas, la calidad no puede ser sustituida por la cantidad. En la Tabla 6 se muestra un ejemplo de la aplicación de los valores de corte de los DIAAS. Los valores actuales de corte de los DIAAS en el contexto de las alegaciones requieren una consideración cuidadosa mayor (por ejemplo, en relación a los patrones dietéticos nacionales y locales).

**Se recomienda que se permita una declaración de “calidad” relacionada con la proteína (por ejemplo, fuente de proteína de calidad).**

**TABLA 6. Ejemplo del uso de los DIAAS en la valoración de la calidad de las proteínas para realizar alegaciones nutricionales**

Alimento	Cantidad	Contenido de proteínas (g/100g)	DIAAS <sup>1</sup>	Calidad valorada	Elegible para alegación basada en cantidad	Elegible para alegación basada en cantidad y calidad
Trigo	100 g	11	40	Baja	Si, alta	No, ninguna
Guisante	100 g	21	64	Baja	Si, alta	No, ninguna
Leche entera en polvo	100 g	28	122	Alta	Si, alta	Si, alta

<sup>1</sup> Los DIAAS se han calculado utilizando los valores de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos indispensables y el patrón de aminoácidos de referencia para los niños entre 6 meses y 3 años de edad.

Cuando se calculen los DIAAS de nuevas formulaciones de alimentos suplementados con aminoácidos cristalinos, estos DIAAS deben confirmarse con ensayos biológicos.

En el caso de fuentes de proteínas de las que no existan datos disponibles previos deben realizarse evaluaciones biológicas para valorar su calidad.

**El Comité recomienda que se publique un conjunto de directrices para la industria (incluyendo recomendaciones sobre los métodos para los estudios biológicos), junto a un conjunto de directrices dietéticas con el ánimo de aconsejar a los consumidores y a los responsables políticos.**

#### 4.9. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

##### **Requerimientos de aminoácidos en la especie humana**

1. Determinar los requerimientos de aminoácidos en individuos totalmente adaptados a ingestas proteicas menores de las usuales, especialmente las ingestas medias habituales de 0.66 g de proteína/kg/día. En un estudio reciente se ha estimado que los requerimientos medios de proteína en los adultos es de 0.91 g de proteína/kg/día. Hace falta que se estudie cuidadosamente la relevancia de este hallazgo en relación a los otros estudios recientes y a los datos generales sobre los requerimientos de proteína en adultos.
2. Determinar los requerimientos de aminoácidos en diferentes condiciones y circunstancias, tales como en los niños, embarazo, envejecimiento y ejercicio, así como las diferencias según el sexo.
3. Mayores validaciones de las metodologías existentes por comparación con los resultados a largo plazo sobre la composición corporal y las consecuencias funcionales posibles.
4. Investigar el papel de los aminoácidos específicos como reguladores del metabolismo y otras funciones en estados fisiológicos y clínicos, y cómo tales acciones podrían afectar al perfil de aminoácidos en el cálculo de los DIAAS de las proteínas de referencia.
5. Determinar la importancia de la ingesta de aminoácidos dispensables, así como determinar si existen circunstancias en las que deban tenerse en cuenta los aminoácidos dispensables al calcular los valores de los DIAAS de una proteína.
6. Explorar nuevos enfoques para la determinación de los requerimientos en aminoácidos, incluyendo el uso de estudios de expresión génica (incluyendo nutrigenómica), metabolómica y/o biomarcadores específicos.
7. Explorar las implicaciones de la calidad de las proteínas de la dieta en la salud a largo plazo y en la longevidad.

##### **Analítica**

Actualizar y ampliar las bases de datos de la FAO sobre el contenido en aminoácidos de los alimentos e incluir los datos de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos.

##### **Digestibilidad ileal**

1. Realizar determinaciones adicionales de digestibilidad ileal verdadera de proteínas y aminoácidos en una gran diversidad de alimentos, así como determinar el contenido de triptófano digestible ileal de la leche humana.
2. Desarrollar métodos precisos no invasivos basados en marcadores biológicos identificados para determinar o predecir la digestibilidad ileal verdadera de proteínas y aminoácidos en humanos.

3. Validar el uso de los datos obtenidos en modelos animales (incluyendo los que proporcionen ecuaciones de predicción interespecies más fiables para la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos) para cuantificar la digestibilidad ileal en humanos, incluyendo las consecuencias funcionales relacionadas con la digestibilidad.
4. Determinar más a fondo los efectos de la microbiota del intestino delgado y del colon sobre los valores de la digestibilidad de los aminoácidos.
5. Desarrollar nuevos ensayos de biodisponibilidad, tales como el ensayo de lisina reactiva, para otros aminoácidos.
6. Desarrollar y validar métodos *in vitro* para la predicción de la digestibilidad y biodisponibilidad de los aminoácidos en humanos.

### **Evaluación y perfeccionamiento de las técnicas para medir directamente la biodisponibilidad de los aminoácidos de la dieta asociados a las proteínas en humanos**

Mientras que los DIAAS, combinando la digestibilidad ileal de los aminoácidos con la biodisponibilidad predecible identificada por la puntuación de aminoácidos, constituyen un paso adelante, dependen todavía de que la puntuación prediga de manera exacta el valor biológico de la mezcla de aminoácidos absorbidos y, por tanto, la calidad global de la proteína. Debido a que la demanda metabólica y los requerimientos reales de aminoácidos son muy complejos y no completamente entendidos en la actualidad, cualquier enfoque para predecir la calidad de las proteínas será probablemente imperfecto en mayor o menor grado. Los métodos basados en la utilización de isótopos estables, señalados anteriormente, ofrecen informaciones adicionales útiles sobre la calidad de las proteínas de la dieta en nutrición humana, pero tienen sus limitaciones de una u otra clase en sus aplicaciones. Sin embargo, estos y otros enfoques novedosos necesitan ser más desarrollados. Los métodos que utilizan los enfoques de la metabolómica y que relacionan los perfiles complejos de metabolitos en muestras de sangre y orina con la digestibilidad y disponibilidad ileal verdadera de las proteínas y aminoácidos ofrecen perspectivas prometedoras para la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en humanos.

### **Impacto de las interacciones entre los factores bioactivos y la calidad y función de la proteína**

1. Investigar los factores bioactivos asociados intrínsecamente a proteínas específicas (tales como péptidos resultantes de la digestión, inhibidores de tripsina, lectinas, isoflavonas –como la genisteína-, etc).
2. Valorar los efectos interactivos de los nutrientes, durante o después de la digestión, que puedan aumentar o disminuir la actividad biológica de la proteína ensayada, o que puedan tener efectos independientes, como, por ejemplo, el ácido fólico, la fibra vegetal y los azúcares.
3. Determinar los efectos de la naturaleza y cantidad de los compuestos energéticos no proteicos ingeridos sobre la actividad biológica de la proteína ensayada.

## Comunicación

1. La FAO debe preparar un manual que sirva como guía para los responsables políticos, la industria y el público sobre la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta y el uso de los DIAAS para establecer alegaciones nutricionales en relación a la proteína.
2. La FAO debe preparar consejos sobre los aspectos integradores de la evaluación de la calidad de las proteínas para incluirlos en las guías dietéticas basadas en alimentos para consumidores y responsables políticos.
3. Incorporar indicadores de calidad de las proteínas (por ejemplo, el valor de lisina) en las hojas de cálculo de los alimentos para su aplicación nacional y global.

## Crianza de animales y cultivo de plantas, efecto de la preparación y el procesamiento

1. Determinar los efectos de la preparación de los alimentos y los métodos de procesado para optimizar la calidad de las proteínas de la dieta y su utilización.
2. Generar datos a nivel de los recursos genéticos (es decir, biodiversidad y biotecnología) sobre la composición en aminoácidos y la digestibilidad relacionados con aspectos de sostenibilidad y que conduzcan al reconocimiento de los existentes y al desarrollo de alimentos de alta calidad proteica en un medio ambiente sostenible.

## 4.10. NIVEL DE EVIDENCIA USADO EN LA ELABORACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES

### Preámbulo

La Consulta de 2011 (*FAO Expert Consultation*) estuvo enfocada al estado actual del conocimiento sobre la digestibilidad y disponibilidad de los aminoácidos en los alimentos, y a las metodologías en las que se utilizan dichos valores, juntamente con la composición en aminoácidos de las proteínas de la dieta, para predecir la calidad de las proteínas en la dieta de los humanos. Tal predicción implica la comparación del suministro de aminoácidos de la dieta en términos de composición, digestibilidad y biodisponibilidad de los aminoácidos en la proteína de la dieta con la estimación de los requerimientos de aminoácidos y proteínas, representados por los patrones de puntuación de referencia de los aminoácidos. Estos últimos valores constituyeron el tema del informe de la consulta de 2007 (*FAO/WHO/UNU Expert Consultation*). Los valores *per se* no fueron vueltos a examinar en este informe, aunque se realizó una consideración cuidadosa de los patrones de referencia de puntuación de aminoácidos (es decir, los requerimientos de aminoácidos en relación a la edad por gramo de los requerimientos de proteína), que fueron propuestos para su utilización en este informe (ver Tabla 5). El trabajo principal del presente informe implica un análisis de las fortalezas o debilidades de la clasificación de los PDCAAS existentes comparados con la propuesta de reemplazamiento por los DIAAS. Resulta, por tanto, importante valorar la “fortaleza de la evidencia” que sostiene las conclusiones alcanzadas por el Comité en relación al cambio eventual propuesto para el nuevo enfoque.

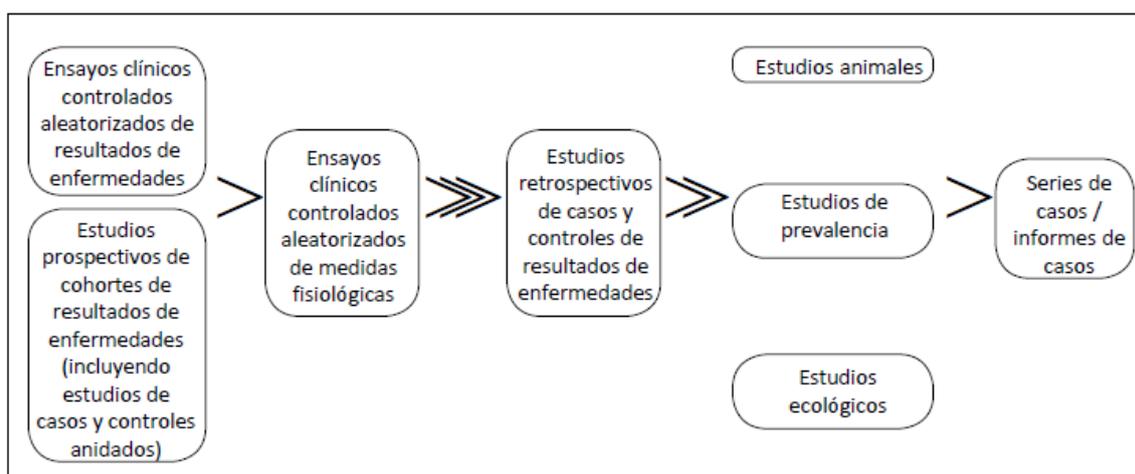
Al alcanzar sus conclusiones y hacer las recomendaciones tras la valoración de la evidencia científica, el Comité de la Consulta de Expertos era consciente de las discusiones en los informes previos FAO/WHO sobre la jerarquía de las fuerzas de evidencia.

### Jerarquía de la evidencia

En el informe FAO más reciente (Grasas y Ácidos Grasos en Nutrición Humana, FAO 2010), los criterios generales para definir los requerimientos para los ácidos grasos se identificaron como sigue:

- Prevenir las deficiencias clínicas
- Proporcionar una salud óptima
- Reducir el riesgo de desarrollar una enfermedad crónica

**FIGURA 3. Clasificación de la validez de los niveles de evidencia para establecer los requerimientos de ácidos grasos de la dieta (el grado de validez decrece de izquierda a derecha)**



<sup>1</sup> Adaptado del informe de la FAO sobre las recomendaciones del papel de las Grasas y Ácidos Grasos, Alimentos y Nutrición FAO (2010), (FAO, 2010)

Adicionalmente, se identificaron medidas fisiológicas con las cuales se pudieran valorar factores relacionados con las consecuencias de enfermedades específicas como medidas indirectas de la reducción del riesgo de enfermedad crónica. Otro enfoque está relacionado con el mantenimiento del equilibrio, es decir, el balance entre ingesta y pérdida de nutrientes, que puede ser determinado directamente o calculado mediante una estimación factorial de la ingesta que equilibre las pérdidas y proporcione las demandas adicionales. Finalmente, se han utilizado estudios con modelos animales en los que se han evaluado las consecuencias de la enfermedad o se han realizado medidas fisiológicas como apoyo de la evidencia para las recomendaciones.

Puesto que las ingestas que previenen las deficiencias clínicas son mucho más bajas para casi todos los nutrientes que las ingestas que reducen el riesgo de enfermedades crónicas, se

ha argumentado que aquellas ingestas deben considerarse como subóptimas y mucho más bajas que las ingestas apropiadas que se recomiendan. Por tanto, el criterio fundamental para establecer las recomendaciones de ácidos grasos, debe referirse a la reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas. Este tema fue discutido adicionalmente en relación al establecimiento de un sistema de clasificación para la evidencia a partir de estudios relevantes (es decir, estudios de consecuencias patológicas relacionadas con la dieta, o medidas fisiológicas y estudios en animales) con ensayos controlados aleatorizados, (RCT) con variables estrechamente relacionadas con la enfermedad y estudios de casos, aunque estos sean menos importantes en la clasificación jerárquica (véase la Figura 3).

### **Nivel de evidencia concerniente a esta consulta**

#### *Patrones de puntuación de aminoácidos*

A la Consulta le correspondió únicamente el establecimiento de requerimientos de nutrientes en relación a la identificación de patrones apropiados de puntuación de aminoácidos. Estos patrones provienen del informe de 2007 sobre “Requerimientos de Proteínas y Aminoácidos en Nutrición Humana” (WHO/FAO/UNU), y la Consulta actual ha aceptado los valores apropiados. En aquel informe se hizo hincapié en que existían muy pocos estudios prospectivos a largo plazo sobre las consecuencias en la salud. De hecho, no se encontraron evidencias sobre las relaciones entre la ingesta de proteínas o aminoácidos y la salud o la enfermedad que fueran suficientes para identificar las ingestas asociadas con una salud óptima o las ingestas que redujeran el desarrollo de enfermedades crónicas. En efecto, tanto para proteínas o aminoácidos como para el resto de nutrientes individuales, las relaciones entre sus ingestas y la salud se limitan fundamentalmente a estudios de casos con pocos ejemplos de evidencia suficiente para justificar un meta-análisis o una revisión sistemática que logre establecer la fuerza de cualquier relación, y prácticamente ninguno que incluya datos dosis-respuesta para justificar un nivel de ingesta aconsejable. Por ejemplo, se ha discutido durante mucho tiempo que la ingesta de proteína en la dieta puede influenciar la salud ósea, y existen evidencias de acciones tanto beneficiosas como adversas, pero hasta la fecha solo se ha publicado un meta-análisis sobre estas relaciones (Darling *et al.*, 2009). Aunque se han identificado algunos aspectos positivos que indican una pequeña mejora de la salud ósea, no hay evidencia suficiente para alterar las estimaciones actuales de requerimientos de proteínas. De manera similar, hay una amplia literatura científica sobre las diversas influencias de la leucina sobre la fisiología y el metabolismo humano que han sido objeto de un interés especial; pero, hasta la fecha, ninguno de estos estudios ha llevado a revisar las estimaciones de los requerimientos de leucina (Millward, 2012c). Por esta razón, no fue posible aplicar estrictamente la jerarquía de evidencia tal como se discutió en el informe sobre “Grasas y Ácidos Grasos en Nutrición Humana” (FAO, 2010) en la evaluación de las bases de evidencia.

En la práctica, las estimaciones actuales de requerimientos de proteína han sido proporcionadas por estudios de balance nitrogenado en adultos, en los que la estimación de requerimientos de aminoácidos se ha obtenido con una combinación de estudios de balance nitrogenado y varios estudios con isótopos estables en adultos con objetivos finales fisiológicos o metabólicos (por ejemplo, el balance de aminoácidos o la oxidación de isótopos). Los resultados de estos estudios se han utilizado para predecir los requerimientos para niños,

embarazadas y mujeres lactantes por medio de un método factorial junto con datos descriptivos y observacionales sobre la composición en aminoácidos de la leche materna que han sido utilizados para definir los requerimientos de aminoácidos en los niños lactantes. En el informe de 2007 WHO/FAO/UNU se ha considerado que todos estos enfoques están sujetos a limitaciones de uno u otro tipo, y que ninguno se considera ideal.

**Esta Consulta es consciente de las limitaciones inherentes a los valores de los requerimientos de proteínas y aminoácidos aceptados actualmente e identificados en este informe como patrones de puntuación de aminoácidos. Está claro que se necesitan estudios adicionales que incluyan las consecuencias sobre las enfermedades crónicas y estudios funcionales, como se ilustra en la Figura 2 de este informe. Se subrayó también que, con muy pocas excepciones, los estudios de balance nitrogenado sobre los requerimientos de proteínas no han incluido medidas de las consecuencias fisiológicas específicas. Se recomienda que los estudios futuros sobre requerimientos de proteínas incorporen, hasta donde sea posible, medidas de las consecuencias fisiológicas específicas.**

Ejemplos de medidas fisiológicas y de sus consecuencias sobre las enfermedades crónicas relacionadas con el establecimiento de criterios para realizar las recomendaciones sobre los requerimientos de proteínas y aminoácidos serían: la hipertensión inducida por la gestación, las infecciones intrauterinas y el retraso de crecimiento fetal. Para los niños pequeños, deberían incluir debilitamiento y desmedro (*stunting*), frecuencia de infecciones y mortalidad global. Para los niños mayores, deberían incluir desmedro, frecuencia de infecciones y capacidad intelectual. Para los adultos, los temas más relevantes podrían ser: la malnutrición y la frecuencia de infecciones, fuerza muscular y productividad laboral, y por lo que se refiere al exceso de ingesta proteica, habría que prestar atención a la salud ósea, hipertensión, fuerza muscular y capacidad de trabajo. En el caso de los ancianos, habría que considerar sarcopenia, salud ósea, deterioro cognitivo, función inmunitaria e infecciones, capacidad de trabajo, hipertensión, enfermedad renal, obesidad y diabetes. La razón principal para utilizar las consecuencias de enfermedad como indicadores de la adecuación o ingesta óptima es que representan el método más directo para valorar los efectos sobre la salud. Sin embargo, un inconveniente importante de la utilización de las consecuencias de enfermedad es que éstas se afectan por múltiples nutrientes y su interacción con el genotipo, por lo que es improbable relacionarlas con un aminoácido específico.

#### *Evaluación de la calidad de las proteínas por los DIAAS*

El cambio propuesto para la evaluación de la digestibilidad proteica, pasando de la excreción fecal de nitrógeno a la digestibilidad ileal de los aminoácidos, se ha basado en los conocimientos actuales de la fisiología de la digestión de las proteínas y de la absorción de aminoácidos y nitrógeno en humanos. Este acuerdo procede de estudios experimentales en humanos durante muchos años junto con estudios experimentales en animales monogástricos, especialmente roedores y cerdos. Se trata de estudios muy diversos, por lo que la evaluación de la fuerza de los argumentos de que una puntuación de aminoácidos calculada a partir de la digestibilidad ileal predice mejor la calidad de las proteínas de la dieta que la digestibilidad fecal del nitrógeno resulta una tarea difícil, especialmente en el contexto de un sistema de jerarquías de evidencia, tal como se ha descrito previamente. Esto se debe a que los estudios

experimentales de los que procede la base de la evidencia no pueden ser clasificados y jerarquizados por el tipo de estudio, como se puede hacer con las relaciones entre dieta y enfermedad. Los estudios experimentales han incluido una diversidad amplia de enfoques diferentes para el estudio del metabolismo y absorción intestinal de proteínas, aminoácidos y nitrógeno. Además, sucede que estos procesos no están de ninguna manera comprendidos en su totalidad, lo que explica las diferencias de opinión, especialmente sobre los intercambios de nitrógeno y de aminoácidos en el colon humano. Por tanto, sobre la base de una opinión colectiva de los miembros de la Consulta, se ha alcanzado la decisión de que el enfoque DIAAS permite con mayor probabilidad una predicción más segura sobre la calidad de las proteínas de la dieta que los PDCAAS. Teniendo en cuenta que la valoración de la digestibilidad de los aminoácidos es inherentemente más difícil que la valoración de la digestibilidad del nitrógeno fecal, la Consulta estudió el balance entre el beneficio potencial de la aplicación de los DIAAS y la dificultad de su determinación comparada con la de los PDCAAS. El resultado de esta deliberación se describe en la Sección IV, con el título: “Corrección para la digestibilidad y disponibilidad de los aminoácidos en el cálculo de los DIAAS”.

#### *Evaluación directa de la calidad de la proteína*

Teniendo en cuenta que se están acumulando bases de evidencia que relacionan la ingesta en la dieta de proteínas y aminoácidos con las medidas a corto y largo plazo de las consecuencias en la salud (tal como se indica en la Figura 2 de este informe), **la Consulta establece la necesidad urgente de llevar a cabo estudios apropiados (bien controlados realizados directamente en humanos) para investigar la influencia directa de la calidad de las proteínas de la dieta en esas relaciones entre la proteína y la salud.**



# APÉNDICES:

## Apéndice I:

# Consulta de expertos FAO sobre la evaluación de la calidad de las proteínas

31 de marzo- 2 de abril 2011

Auckland, Nueva Zelanda, SKICITY Auckland Convention Centre, 88 Federal Street, Auckland

---

### OBJETIVOS PRELIMINARES DE LA REUNIÓN:

1. Revisar la eficacia y el uso del método PDCAAS para evaluar la calidad de las proteínas desde su adopción en 1991.
2. Revisar las dudas y limitaciones actuales del método PDCAAS descritos en la literatura científica.
3. Revisar las ventajas e inconvenientes de otros métodos para la evaluación de la calidad de la proteína.
4. Proporcionar justificaciones y recomendaciones para la aceptación, rechazo o modificación del método PDCAAS.
5. Proporcionar una serie de recomendaciones para la valoración de la calidad de las proteínas y sus aplicaciones.
6. Recomendar nuevas actividades de investigación relacionadas con la evaluación de la calidad de la proteína.

### PROGRAMA PRELIMINAR

#### DÍA 1:

##### *Mañana*

- |       |   |
|-------|---|
| 8.30  | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bienvenida e introducciones</li><li>▪ Elección del presidente</li><li>▪ Elección del vicepresidente y vocales</li><li>▪ Aprobación de la agenda</li></ul> |
| 10:00 | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <i>Pausa saludable</i></li></ul>  |
| 10:30 | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Presentación de la información sobre los antecedentes</li><li>▪ Requerimientos de aminoácidos en humanos</li></ul>  |

*Profesor Joe Millward, Universidad de Surrey, UK*

- Ventajas/limitaciones de los PDCAAS como método para evaluar la calidad de las proteínas en las dietas para humanos  
*Profesor Gertjan Shaafsma, HAN University, The Netherlands*

- Panorámica histórica del cálculo de PDCAAS  
*Dr Joyce Boye, Food and Agriculture Organization, Roma*

- 11:45
- Presentación de temas específicos para ser considerados por los expertos científicos

- 12:15
- *Almuerzo*

### **Tarde**

- 13:30
- Sesión de discusión 1

**TEMA 1: Truncamiento de las puntuaciones de PDCAAS para las proteínas con valores iguales y mayores del 100 %.**

*(Asunto en cuestión: no está claro el beneficio adicional de las proteínas con puntuaciones más altas al complementar a proteínas con menor valor nutricional). Discusiones y recomendación.*

- **TEMA 2: Validez del uso de los valores de requerimientos de aminoácidos en niños en edad pre-escolar.**
- *(Asunto en cuestión: ¿nuestros conocimientos actuales apoyan esto? Además, ¿existe la necesidad de considerar los aminoácidos condicionalmente indispensables?). Discusiones y recomendación.*

- 15:30
- *Pausa saludable*

- 16:00
- Sesión de discusión 1 (*continuación...*)

**TEMA 3: Uso de la composición en aminoácidos de la leche materna para la predicción de la calidad de las proteínas en los lactantes.**

*(Asunto: revisión de la literatura científica para valorar la conveniencia de los valores de referencia de la composición en aminoácidos de la leche materna (FAO/WHO/UNU, 1985) para su uso en la predicción de la calidad de las proteínas en los alimentos para lactantes). Discusiones y recomendación.*

- 18:00                   ▪ *Final del día 1*

## DÍA 2:

### **Mañana**

- 8:30                   ▪ Comentarios de bienvenida

- 8:40                   ▪ Sesión de discusión 2

#### **TEMA 4: Metodología para el análisis de aminoácidos**

*(Asunto en cuestión: revisión de los métodos IEC y HPLC para la determinación de aminoácidos en alimentos y heces/digesta con el objetivo de adoptar métodos estandarizados para estos análisis). Discusiones y recomendaciones.*

**TEMA 5: Uso de: a) Digestibilidad fecal versus ideal de proteínas/aminoácidos; b) Digestibilidad real versus digestibilidad aparente al calcular los valores de PDCAAS.**

*(Asunto: la digestibilidad fecal puede sobrestimar la digestibilidad de los aminoácidos debido a la degradación de microorganismos en el intestino grueso. Hay también un efecto de la edad sobre la digestibilidad fecal e ileal de proteínas/aminoácidos no clarificado. ¿Es la rata todavía un modelo aceptable? ¿Existen algunos avances en las medidas "in vitro" de digestibilidad?). Discusiones y recomendaciones.*

- 10:00                   ▪ *Pausa saludable*

- 10:30                   ▪ Sesión de discusión 2 (continuación...)

#### **TEMA 6: Biodisponibilidad versus digestibilidad de proteínas**

*(Asunto: ¿hay necesidad de incluir correcciones para la biodisponibilidad de los aminoácidos individuales y no precisamente para la digestibilidad de la proteína?). Discusiones y recomendación.*

- 12:15                   ▪ *Almuerzo*

### **Tarde**

- 13:30                   ▪ Sesión de discusión 3

**TEMA 7: Impacto de los factores antinutricionales asociados a las proteínas, incluyendo los naturales y los que se forman durante el**

**procesamiento.**

*(Asunto: el efecto de las modificaciones originadas durante el procesamiento y la presencia de componentes antinutricionales en algunas fuentes de proteínas pueden afectar a la calidad de la proteína). Discusiones y recomendación.*

**TEMA 8: Significado de los valores de PDCAAS en la práctica.**

*(Asunto en cuestión: los humanos consumen proteínas procedentes de fuentes diversas. Los valores de PDCAAS de una única fuente de proteína pueden carecer de significado práctico. Cálculo de PDCAAS en dietas mixtas).*

15:30           ▪ *Pausa saludable*

16:00           ▪ Sesión de discusión 3 (*continuación...*)

**TEMA 9: Aspectos reguladores (Codex versus guías nacionales).**

*(Asunto en cuestión: ¿cómo pueden los países recomendar el uso de metodologías para valorar la calidad de las proteínas a efectos reguladores?). Discusiones y recomendación.*

**Noche**

17:00-19:00   ▪ Primera reunión del Comité a cargo de hacer el borrador

**DIA 3:**

**Mañana**

8:30           ▪ Comentarios de bienvenida

8:40           ▪ Discusiones y recomendaciones para trabajos de investigación adicionales y datos necesarios.

*(Ejemplos de algunos temas que requieren consideración: a) Requerimientos humanos de aminoácidos azufrados (cisteína “versus” metionina); b) Posibles efectos adversos de proteínas con niveles de aminoácidos desproporcionados; c) Actualización de los datos de FAO sobre el contenido en aminoácidos de los alimentos y necesidad de datos nacionales; d) Otros.*

10:00           ▪ *Pausa saludable*

10:30           ▪ Revisión del informe y recomendaciones

12:15           ▪ *Almuerzo*

**Tarde**

13:30           ▪ Segunda reunión del Comité  
Revisión final y adopción del informe y comendaciones

17:00           ▪ Clausura

## APÉNDICE II:

# Asistencia a la consulta de expertos sobre la calidad de las proteínas en nutrición humana

---

31 marzo-2 abril 2011

Dr Jaime Amaya-Farfan  
Profesor  
Department of Food and Nutrition Planning  
Faculty of Food Engineering  
University of Campinas  
Campinas  
Sao Paulo  
Brasil

Dr G Sarwar Gilani  
Científico de investigación Senior  
Nutrition Research Division  
Health Products and Food Branch  
Health Canada, Government of Canada  
251 Sir Frederick Banting Driveway  
Ottawa, Ontario  
Canadá

Dr Paul Pencharz (Ponente)  
Profesor de Pediatría y Ciencias de la Nutrición (Emérito)  
Division of Gastroenterology and Nutrition,  
University of Toronto  
The Hospital for Sick Children,  
Toronto, Ontario  
Canadá

Dr Ricardo Uauy (Vicepresidente de la Consulta)  
Profesor  
Universidad de Chile  
Macul 5540  
Santiago de Chile  
Chile

Dr Daniel Tomé  
Profesor en Nutrición Humana  
AgroParis Tech  
16 rue Claude Bernard  
F 75005 París  
Francia

Dr Anura V Kurpad  
Decano  
St. John's Research Institute  
St. John's National Academy of Health Sciences  
Bangalore-560 034  
Karnataka  
India

Profesor Kyoichi Kishi  
Department of Nutrition  
School of Medicine  
University of Tokushima  
Tokushima, 770  
Japón

Dr Gertjan Schaafsma  
Consultor y profesor  
Sports Nutrition and Lifestyle Research Group  
HAN University  
Arnhem-Nijmegen  
Países Bajos

Dr Margriet Westerterp-Plantenga  
Profesor de regulación de ingesta de  
alimentos  
Department of Human Biology  
Maastricht University Medical Centre  
6200 MD Maastricht  
Países Bajos

Profesor Paul J Moughan (Presidente de la  
Consulta)  
Profesor distinguido y co-director  
Riddet Institute  
Massey University  
Private Bag 11222, Palmerston North,  
Nueva Zelanda

Hettie Schonfeldt (Ponente)  
Profesor asociado del Instituto de Alimentos,  
Nutrición y Bienestar  
Department of Animal and Wildlife Sciences  
University of Pretoria  
Pretoria  
Sudáfrica

Profesor Joe Millward  
Profesor de Nutrición Humana  
Director del Centro para la Nutrición y la  
Seguridad Alimentaria,  
Escuela de Ciencias Biomédicas y Moleculares  
University of Surrey  
Guildford, Surrey  
Reino Unido

Dr Robert R Wolfe  
Profesor del Departamento de Geriátría  
Director del Centro de investigación  
translacional en Envejecimiento y Longevidad  
Texas A&M University  
College Station, Texas 77843  
Estados Unidos de América

Dr Malcolm Fuller (Ponente)  
Profesor de investigación honorario  
Department of Surgery  
State University of New York  
Stony Brook, NY 11794-3760  
Estados Unidos de América

## **SECRETARÍA FAO**

Dr Barbara Burlingame  
Oficial principal  
Nutrition and Consumer Protection Division  
Food and Agriculture Organization of the  
United Nations  
Viale delle Terme di Caracalla  
00153 Roma  
Italia

Dr Joyce Boye (Apoyado a la FAO)  
Científico de investigación Senior  
Food Research and Development Centre  
Agriculture and Agri-Food Canada  
3600 Casavant Blvd. West  
St-Hyacinthe, Quebec J2S 8E3  
Canadá



# Referencias

---

- AOAC** (2000) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International* 17th edition, section 45.3.04 (AOAC Official Method 960.48, Protein Efficiency Ratio), section 45.3.05 (AOAC Official Method 982.30, protein Efficiency Ratio, Calculation Method) section 45.3.06 (AOAC Official Method 991.29; True Protein Digestibility of Foods and Food Ingredients, Rat Bioassay), section 45.4.04 (AOAC Official Method 988.15, Tryptophan in Foods and Food and Feed Ingredients), section 45.4.05 (AOAC Official Method 985.28, Sulfur Amino Acids in Food and Feed Ingredients, Ion-Exchange Chromatographic method: Extension to Processed Foods). Gaithersburg, Maryland: Association of Official Analytical Chemists International.
- Ball, R.O. and Bayley, H.S.** (1986) Influence of dietary protein concentration on the oxidation of phenylalanine by the young pig. *British Journal of Nutrition*. 55, 651-658.
- Bodwell, C.E., Adkins, J.S. and Hopkins, D.T.** (1981) *Protein Quality in Humans: Assessment and In Vitro Estimation*. Westport Connecticut: AVI Publishing Inc.
- Bodwell, C.E., Carpenter, K.J. and McDonough, F.E.** (1989) A collaborative study of methods of protein evaluation: Introductory paper. *Plant Foods for Human Nutrition*. 39, 3-11.
- Boisen, S. and Moughan, P.J.** (1996) Different expressions of dietary protein and amino acid digestibility and their application in protein evaluation: A theoretical approach. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 46, 165-172.
- Bolourchi, S., Friedmann, C.M. and Mickelsen, O.** (1968) Wheat flour as a source of protein for human subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 21, 827-835.
- Bos, C., Mahé, S., Gaudichon, C., Benamouzig, R., Gausserès, N., Luengo, C., Ferrière, F., Rautureau, J. and Tomé, D.** (1999) Assessment of net postprandial protein utilization of 15N-labelled milk nitrogen in human subjects. *British Journal of Nutrition*. 81, 221-226.
- Bos, C., Juillet, B., Fouillet, H., Turlan, L., Daré, S., Luengo, C., N'tounda, R., Benamouzig, R., Gausserès, N., Tomé, D. and Gaudichon, C.** (2005) Postprandial metabolic utilization of wheat protein in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 81, 87-94.
- Chacko, A. and Cummings, J.H.** (1988) Nitrogen losses from the human small bowel: obligatory losses and the effect of physical form of food. *Gut*. 29, 809-815.
- Clifton, P.** (2012) Effect of high protein diet on body weight and comorbidities associated with obesity. *British Journal of Nutrition*. 108, S122-129.
- Codex Alimentarius Commission** (1989) Document Alinorm 89/30, Working Group's Report of the Fifth Session of CCVP on Protein Quality Measurement. FAO: Rome, WHO: Geneva.
- CVB Feed Tables** (2007) Chemical compositions and nutritional values of feed ingredients. Product Board Animal Feed, CVB, The Hague.

- Darling, A.L., Millward, D.J., Torgerson, D.J., Hewitt, C.E. and Lanham-New, S.A.** (2009) Dietary protein and bone health: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Nutrition*. 90, 1674–92.
- Darragh, A.J. and Moughan, P.J.** (1998) The amino acid composition of human milk corrected for amino acid digestibility. *British Journal of Nutrition*. 80, 25-34.
- Darragh, A.J. and Hodgkinson, S.M.** (2000) Quantifying the digestibility of dietary protein. *Journal of Nutrition*. 130, 1850S-1856S.
- Darragh, A.J., Cranwell, P.D. and Moughan, P.J.** (1994) Absorption of lysine and methionine from the proximal colon of the piglet. *British Journal of Nutrition*. 71, 739-752.
- Davis, T.A., Nguyen, H.V., Garcia-Bravo, R., Fiorotto, M.L., Jackson, E.M., Lewis, D.S., Lee, D.R. and Reeds, P.J.** (1994) Amino acid composition of human milk is not unique. *Journal of Nutrition*. 124, 1126-1132.
- Deglaire, A., Bos, C., Tomé, D. and Moughan, P.J.** (2009) Ileal digestibility of dietary protein in the growing pig and adult human. *British Journal of Nutrition*. 102, 1752-1759.
- Dewey, K.G., Beaton, G., Fjeld, C., Lönnerdal, B. and Reeds, P.** (1996) Protein requirements of infants and children. *European Journal of Clinical Nutrition*. 50, S119–S147.
- Donkoh, A. and Moughan, P.J.** (1994) The effect of dietary crude protein content on apparent and true ileal nitrogen and amino acid digestibilities. *British Journal of Nutrition*. 72, 59-68.
- Edwards, C.H., Booker, L.K., Rumph, C.H., Wright, W.G. and Ganapathy, S.N.** (1971) Utilization of wheat by adult man: nitrogen metabolism plasma amino acids and lipids. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 24, 181–193.
- Eggum, B.A.** (1973) A study of certain factors influencing protein utilization in rats and pigs. Copenhagen: National Institute of Animal Science, Publication 406.
- Elango, R., Ball, R.O. and Pencharz, P.B.** (2008a) Indicator amino acid oxidation: concept and application. *Journal of Nutrition*. 138, 243-246.
- Elango, R., Ball, R.O. and Pencharz, P.B.** (2008b) Individual amino acid requirements in humans: an update. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 11, 34-39.
- FAO** (1970) Amino-Acid content of foods and biological data on proteins. FAO food and nutrition series. Rome, Italy: FAO.
- FAO** (2010) Food and Nutrition Paper. Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. Rome: FAO, 51 p.
- FAO/WHO** (1973) Energy and protein requirements: Report of a joint FAO/WHO ad hoc expert committee. Rome: FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52. Geneva: WHO Technical Report Series No. 522.
- FAO/WHO-UNU** (1985) Energy and Protein Requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, WHO Tech Rep Ser no.724, Geneva: WHO.

- FAO/WHO** (1991) Protein Quality Evaluation: Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, FAO Food and Nutrition Paper 51. Rome: FAO.
- FAO/WHO** (2001) Report of the FAO/WHO Working Group on Analytical Issues Related to Food Composition and Protein Quality. Rome: FAO.
- Fuller, M.** (2012) Determination of protein and amino acid digestibility in foods including implications of gut microbial amino acid synthesis. *British Journal of Nutrition*. 108, S238-S246.
- Fuller, M.F. and Tomé, D.** (2005) *In vivo* determination of amino acid bioavailability in humans and model animals. *Journal of AOAC International*. 88, 923-934.
- Fuller, M.F., Milne, A., Harris, C.I., Reid, T.M. and Keenan, R.** (1994) Amino acid losses in ileostomy fluid on a protein-free diet. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 59, 70–73.
- Gargallo, J. and Zimmerman, D.** (1981) Effect of Casein and Starch Infusion in the Large Intestine on Nitrogen Metabolism of Growing Swine. *Journal of Nutrition*. 111, 1390-1396.
- Gausserès, N., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Drouet, H., Rautureau, J. and Tomé, D.** (1996) The gastro-ileal digestion of 15N-labelled pea nitrogen in adult humans. *British Journal of Nutrition*. 76(1), 75-85.
- Gaudichon, C., Bos, C., Morens, C., Petzke, K.J., Mariotti, F., Everwand, J., Benamouzig, R., Dare, S., Tome, D., and Metges, C.C.** (2002) Ileal losses of nitrogen and amino acids in humans and their importance to the assessment of amino acid requirements. *Gastroenterology*. 123, 50–9.
- Gilani, G.S., Xiao, C.W. and Cockell, K.A.** (2012) Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition*. 108, S315-S332.
- Harper, A.E.** (1981) Task force II report. In: C.E. Bodwell, J.S. Adkins and D.T. Hopkins eds. *Protein Quality in Humans: Assessment and In Vitro Estimation*. Westport, Connecticut: AVI Publishing Inc, pp. 417-420.
- Hegsted, D.M.** (1963) Variation in requirements of nutrients: amino acids. *Federation Proceedings*. 22, 1424-1430.
- Heine, W.E., Klein, P.D. and Reeds, P.J.** (1991) The importance of alpha-lactalbumin in infant nutrition. *Journal of Nutrition*. 121, 277–283.
- Heine, W., Wutzke, K.D., Richter, I., Walther, F. and Plath, C.** (1987) Evidence for colonic absorption of protein nitrogen in infants. *Acta Paediatrica Scandinavica*. 76, 741-4.
- Hendriks, W.H., van Baal, J. and Bosch, G.** (2012) Ileal and faecal protein digestibility measurement in humans and other non-ruminants - a comparative species view. *British Journal of Nutrition*. 108, S247-S257.
- Hoile, S.P., Lillycrop, K.A., Thomas, N.A., Hanson, M.A. and Burdge, G.C.** (2011) Dietary protein restriction during F-0 Pregnancy in rats induces transgenerational changes in the hepatic transcriptome in female offspring. *PLoS ONE*. 6, 1-14.

- Jackson, A.A.** (1998) Salvage of urea-nitrogen in the large bowel: functional significance in metabolic control and adaptation. *Biochemical Society Transactions*. 26, 231-235.
- Jackson, A.A.**, Gibson, N.R., Bundy, R., Hounslow, A., Millward, D.J., and Wootton, S.A. (2004) Transfer of <sup>15</sup>N from oral lactose-ureide to lysine in normal adults *International Journal of Food Science and Nutrition*. 55, 455-462.
- Jonker, R., Engelen, M.P.K.J. and Deutz, N.E.P.** (2012) Role of specific dietary amino acids in clinical conditions. *British Journal of Nutrition*. 108, S139-S148.
- Juillet, B., Saccomani, M.P., Bos, C., Gaudichon, C., Tomé, D. and Fouillet, H.** (2006) Conceptual, methodological and computational issues concerning the compartmental modeling of a complex biological system: Postprandial inter-organ metabolism of dietary nitrogen in humans. *Mathematical Biosciences*. 204, 282-309.
- Krawielitzki, K., Schadereit, R., Zebrowska, T., Wunsche, J. and Bock, H.D.** (1984) Absorption and use of amino acids infused into the cecum of growing pigs. *Arch Tierernahr*. 34(1), 1-18.
- Levesque, C.L. and Ball, R.O.** (2012) Protein and amino acid requirements. In: M.H. Stipanuk and M.A. Caudill eds. *Biochemical, Physiological and Molecular Aspects of Human Nutrition*. St Louis, USA: Elsevier, pp. 331-356.
- Mahé, S., Huneau, J.F., Marteau, P., Thuillier, F., Tomé, D.** (1992) Gastro-ileal nitrogen and electrolyte movements after bovine milk ingestion in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 56,410-416.
- Mariotti, F., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Daré, S., Gaudichon, C. and Tomé, D.** (1999) Nutritional value of [<sup>15</sup>N]-soy protein isolate assessed from ileal digestibility and postprandial protein utilization in humans. *Journal of Nutrition*. 129, 1992-1997.
- Mason, V.C. and Palmer, R.M.** (1973) The influence of bacterial activity in the alimentary canal of rats on faecal nitrogen excretion. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 23, 141-150.
- Mason, V.C., Just, A. and Bech-Andersen, S.** (1976) Bacterial activity in the hind-gut of pigs 2. Its influence on the apparent digestibility of nitrogen and amino acids. *Z Tierphysiol Tierernahr Futtermittelkd*. 36, 310-24.
- McDonough, F.E., Sarwar, G., Steinke, F.H., Slump, P., Garcia, S. and Boisen, S.** (1990a) A collaborative study of methods of protein evaluation: *In vitro* assay for protein digestibility: interlaboratory study. *Journal of AOAC International*. 73, 622-625.
- McDonough, F.E., Steinke, F.H., Sarwar, G., Eggum, B.O., Bressani, R., Huth, P.J., Barbeau, W.E., Mitchell, G.V. and Phillips, J.G.** (1990b) *In vivo* assay for true digestibility: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 73, 801-805.
- McNurlan, M.** (2012) New perspectives in the control of body protein metabolism. *British Journal of Nutrition*. 108, S94-S104.
- Metges, C.C., Petzke, K.J., El-Khoury, A.E., Henneman, L., Grant, I., Bedri, S., Regan, M.M., Fuller, M.F. and Young, V.R.** (1999) Incorporation of urea and ammonia nitrogen into ileal

and fecal microbial proteins and plasma free amino acids in normal men and ileostomates. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 70, 1046-58.

**Millward, D.J.** (2003) Horizons in Nutritional Sciences: An adaptive metabolic demand model for protein and amino acid requirements. *British Journal of Nutrition*. 90, 249–260.

**Millward, D.J.** (2012a) Identifying recommended dietary allowances for protein and amino acids: a critique of the 2007 WHO/FAO/UNU report. *British Journal of Nutrition*. 108, S3-S21.

**Millward, D.J.** (2012b) Amino acid scoring patterns for protein quality assessment. *British Journal of Nutrition*. 108, S31-S43.

**Millward, D.J.** (2012c) Knowledge gained from studies of leucine consumption in animals and humans. *Journal of Nutrition*. 142(12), 2212S-2219S.

**Millward, D.J. and Pacy, P.J.** (1995) Postprandial protein utilisation and protein quality assessment in man. *Clinical Science*. 88, 597-606.

**Millward, D.J., Jackson, A.A., Price, G and Rivers, J.P.W.** (1989) Human amino acid and protein requirements: Current dilemmas and uncertainties. *Nutrition Research Reviews*. 2:109-132.

**Millward, D.J., Forrester, T., Ah-Sing, E., Yeboah, N., Gibson, N., Badaloo, A., Boyne, M., Reade, M., Persaud, C., and Jackson, A.** (2000a) The transfer of 15N from urea to lysine in the human infant. *British Journal of Nutrition*. 83, 505-512.

**Millward, D.J., Fereday, A., Gibson, N.R. and Pacy P.J.** (2000b) Human adult protein and amino acid requirements: [13C-1] leucine balance evaluation of the efficiency of utilization and apparent requirements for wheat protein and lysine compared with milk protein in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*. 72: 112-121.

**Millward, D.J., Fereday, A., Gibson, N.R., Cox, M.C. and Pacy P.J.** (2002) Efficiency of utilization and apparent requirements for wheat protein and lysine determined by a single meal [13C-1] leucine balance comparison with milk protein in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition* 76. 1326–1334.

**Moehn, S., Bertolo, R.F., Pencharz, P.B. and Ball, R.O.** (2005) Development of the indicator amino acid oxidation technique to determine the availability of amino acids from dietary protein in pigs. *Journal of Nutrition*. 135, 2866-2870.

**Moehn, S., Bertolo, R.F.P., Martinazzo-Dallagnol, E., Bertolo, R.F.P., Pencharz, P.B. and Ball, R.O.** (2007) Metabolic availability of lysine in feedstuffs determined using oral isotope delivery. *Livestock Science*. 109, 24-26.

**Moughan, P.J.** (2003) Amino acid availability – aspects of chemical analysis and bioassay methodology. *Nutrition Research Reviews*. 16, 127-141.

**Moughan, P.J. and Smith, W.C.** (1985) Determination and assessment of apparent ileal amino-acid digestibility coefficients for the growing pig. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 28, 365-370.

- Moughan, P.J. and Rutherford, S.M.** (1996) A new method for determining digestible reactive lysine in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44, 2202-2209.
- Moughan, P.J. and Rutherford, S.M.** (2012) Gut luminal endogenous protein: Implications for the determination of ileal amino acid digestibility in humans. *British Journal of Nutrition*. 108, S258-S263.
- Moughan, P.J., Smith, W.C. and James K.A.C.** (1984) Preliminary observations on the use of the rat as a model for the pig in the determination of apparent digestibility of dietary protein. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 27, 509-512.
- Moughan, P.J., Souffrant, W.G. and Hodgkinson, S.M.** (1998) Physiological approaches to determining gut endogenous amino acid flows in the mammal. *Archives of Animal Nutrition*. 51, 237-252.
- Moughan, P.J., Pedraza, M., Smith, W.C., Williams, M. and Wilson, M.N.** (1990) An evaluation with piglets of bovine milk, hydrolysed bovine milk and isolated soybean proteins included in infant milk formulas. I. Effect on organ development, digestive enzyme activities, and amino acid digestibility. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 10, 385-394.
- Moughan, P.J., Butts, C.A., Rowan, A.M. and Deglaire, A.** (2005) Dietary peptides increase gut endogenous amino acid losses in adult humans. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81, 1359-1365.
- Otter, D.** (2012) Standardised methods for amino acid analysis of food. *British Journal of Nutrition*. 108, S230-S237.
- Patterson, B.W., Carraro, F., Klein, S. and Wolfe, R.R.** (1995) Quantification of incorporation of [15N] ammonia into plasma amino acids and urea. *American Journal of Physiology*. 269, E508-15
- Pederson, B. and Eggum, B.A.** (1983) Prediction of protein digestibility by an in vitro enzymatic pH stat procedure. *Z Tierphysiol Tierernahrg u Futtermittelkde*. 49, 265-277.
- Pencharz, P.B. and Ball, R.O.** (2003) Different approaches to define individual amino acid requirements. *Annual Review of Nutrition*. 23, 101-116.
- Phillips, S.M.** (2012) Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes. *British Journal of Nutrition*. 108, S158-S167.
- Rafii, M., McKenzie, J.M., Roberts, S.A., Steiner, G., Ball, R.O. and Pencharz, P.B.** (2008) In vivo regulation of phenylalanine hydroxylation to tyrosine, studied using enrichment in apoB-100. *American Journal of Physiology*. 294, E475-479.
- Rowan, A.M., Moughan, P.J. and Wilson, M.N.** (1993) Endogenous amino acid flow at the terminal ileum of adult humans determined following the ingestion of a single protein-free meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 61, 439-442.
- Rowan, A.M., Moughan, P.J., Wilson, M.N., Maher, K. and Tasman-Jones, C.** (1994) Comparison of the ileal and faecal digestibility of dietary amino acids in adult humans and

- evaluation of the pig as a model animal for digestion studies in man. *British Journal of Nutrition*. 71, 29-42.
- Rutherford, S.M. and Moughan, P.J.** (1990) Guanidination of lysine in selected dietary proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 38, 209-211.
- Rutherford, S.M. and Moughan, P.J.** (1998) The digestible amino acid composition of several milk proteins: application of a new bioassay. *Journal of Dairy Science*. 81, 909-917.
- Rutherford, S.M. and Sarwar-Gilani, G.** (2009) Amino acid analysis. *Current Protocols in Protein Science*. 58, 11.9.1-11.9.37.
- Rutherford, S.M. and Moughan, P.J.** (2012) Available versus digestible dietary amino acids. *British Journal of Nutrition*. 108, S298-S305.
- Rutherford, S.M., Moughan, P.J. and van Osch, L.** (1997a) Digestible reactive lysine in processed feedstuffs: Application of a new bioassay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 1189-1194.
- Rutherford, S.M., Moughan, P.J. and Morel, P.C.H.** (1997b) Assessment of the true ileal digestibility of reactive lysine as a predictor of lysine uptake from the small intestine of the growing pig. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 4378 – 4383.
- Rutherford-Markwick, K.J.** (2012) Food protein as a source of bioactive peptides with diverse functions. *British Journal of Nutrition*. 108, S149-S157.
- Saterlee, L.D., Marshall, H.F. and Tennyson, J.M.** (1979) Measuring protein quality. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 56, 103-109.
- Skilton, G.A., Moughan, P.J. and Smith, W.C.** (1988) Determination of endogenous amino acid flow at the terminal ileum of the rat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 44, 227-235.
- Stein, H.H., Seve, B., Fuller, M.F., Moughan, P.J. and de Lange, C.F.M.** (2007) Invited Review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science*. 85, 172-180.
- Te Morenga, L. and Mann, J.** (2012) The role of high-protein diets in body weight management and health. *British Journal of Nutrition*. 108, S130-S138.
- Tomé, D. and Bos, C.** (2000) Dietary protein and nitrogen utilization. *Journal of Nutrition*. 130, 1868S-1873S.
- Villalpando, S., Butte, N.F., Flores-Huerta, S. and Thotathuchery, M.** (1998) Qualitative analysis of human milk produced by women consuming a maize-predominant diet typical of rural Mexico. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 42, 23-32.
- Viteri, F.E.** (2010) INCAP studies of energy, amino acids, and protein. *Food and Nutrition Bulletin*. 1, 42-53.
- Waterland, R.A., Kellermayer, R., Laritsky, E., Rayco-Solon, P., Harris, R.A., Travisano, M., Zhang, W., Torskaya, M.S., Zhang, J., Shen, L., Manary, M.J. and Prentice, A.M.** (2010)

Season of conception in rural Gambia affects DNA methylation at putative human metastable epialleles. *PLoS Genetics*. 6, 1-10.

**Westerterp-Plantenga, M.S., Lemmens, S.G. and Westerterp, K.R.** (2012) Dietary protein – its role in satiety, energetics, weight loss and health. *British Journal of Nutrition*. 108, S105-S112.

**WHO** (1985) Energy and protein requirements: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO Technical Report Series No. 724. Geneva: WHO.

**WHO/FAO/UNU** (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition; Report of a joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation, WHO Tech Rep Ser no. 935. Geneva: WHO.

**Wolfe, R.** (2012) The role of dietary protein in optimizing muscle mass, function and health outcomes in older individuals. *British Journal of Nutrition*. 108, S88-S93.

**Zebrowska, T.** (1973) Digestion and absorption of nitrogenous compounds in the large intestine of pigs. *Roczniki Nauk Rolniczych*. B95-3, 85-90.

**Zebrowska, T.** (1975) The apparent digestibility of nitrogen and individual amino acids in the large intestine of pigs. *Roczniki Nauk Rolniczych*. 97B, 117–23

# Planteamientos de investigación y métodos para la evaluación de la calidad de la proteína de los alimentos para humanos

Informe de un grupo de expertos

31 de Marzo - 2 de Abril, 2011

Auckland, Nueva Zelanda

Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT)  
Granada, España, 2017

*Este documento fue publicado originalmente por la FAO con el título "Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods". La traducción al español se ha realizado por la FINUT. En caso de eventuales discrepancias, el texto en inglés prevalecerá sobre el español.*

Las designaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), así como de la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO o la FINUT los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de sus autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAO o de la FINUT.

FAO 2014 (edición en inglés)

FAO y FINUT 2017 (edición en español)

Excepto cuando se indique lo contrario, el material puede ser copiado, descargado e impreso para fines privados de estudio, investigación y enseñanza, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se indique el reconocimiento apropiado de la FAO y la FINUT como fuente y titular de los derechos de autor. El respaldo de las opiniones, productos o servicios de los usuarios no está implicado de ninguna manera.

Todas las solicitudes de derechos de traducción y de adaptación y de reventa y otros derechos de uso comercial deben hacerse a través de [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) o dirigirse a [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la FAO ([www.fao.org/publication](http://www.fao.org/publication)) y se pueden adquirir a través de [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org).

---

# Tabla de contenidos

---

Agradecimientos	iii
Acrónimos	vii
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN E INAUGURACIÓN DE LA REUNIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN DE LA REUNIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA Y CONSIDERACIONES EN SALUD PÚBLICA</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 5. RELACIÓN ENTRE LOS ESTUDIOS EN ANIMALES Y EN HUMANOS Y LA VINCULACIÓN ENTRE AMBOS</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 6. CARACTERÍSTICAS DE UN MÉTODO IDEAL DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 7. MÉTODOS PARA MEDIR LA DIGESTIBILIDAD DE PROTEÍNAS EN ALIMENTOS PARA HUMANOS</b>	<b>17</b>
7.1. Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos	17
7.2. Método del indicador de oxidación de aminoácidos (IAAO)	19
7.3. Utilización postprandial de la proteína (PPU)	22
7.4. Utilización neta de proteína postprandial (NPPU)	26
7.5. Un enfoque de marcador dual para la medición de DIAAS	30
<b>CAPÍTULO 8. CONSIDERACIONES FINALES DEL GRUPO DE TRABAJO</b>	<b>37</b>
Anexo 1. Ensayo de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos: una metodología estándar	39
Anexo 2. Protocolo detallado del indicador de oxidación de aminoácidos (IAAO)	45
Anexo 3. Protocolo para determinar la utilización postrandial de la proteína (PPU)	53
Anexo 4. Agenda	57
Anexo 5. Lista de participantes en el grupo de trabajo de la FAO sobre la calidad de las proteínas	61
Anexo 6. Segunda convocatoria de expertos	65
<b>REFERENCIAS</b>	<b>69</b>

---

## Lista de tablas

---

TABLA 1.	
Valores PPU para trigo, evaluados con los dos protocolos asumiendo distintos valores para la digestibilidad de la proteína del trigo usada en los estudios (Sección 7.3)	<b>24</b>
TABLA 2.	
Ejemplos de costos actuales de los marcadores (fuente: Cambridge Laboratories Inc., MA, USA) Marzo 2014. (Sección 7.5)	<b>35</b>

---

## Lista de figuras

---

FIGURA 1.	<b>19</b>
Comparación humano-cerdo en crecimiento (Sección 7.1)	
FIGURA 2.	<b>20</b>
Disponibilidad de lisina en guisantes (Sección 7.2)	
FIGURA 3.	<b>25</b>
Modelo asumido para determinación de la utilización de proteína durante una sola comida. (Sección 7.3)	
FIGURA 4.	<b>32</b>
Prueba de composición de proteína en una comida (Sección 7.5)	
FIGURA 5	<b>48</b>
La respuesta será no-lineal si la ingesta del aminoácido indicador es excesiva (zona 1) o deficiente (Zona 3) – (Anexo 2)	
FIGURA 6	<b>51</b>
Protocolo para el estudio del IAAO diario en humanos- (Anexo 2)	
FIGURA 7	<b>53</b>
Protocolo experimental (Anexo 3)	

---

# Acrónimos y símbolos

---

AA	Aminoácido ( <i>Amino Acid</i> )
AA <sub>diet</sub>	Aminoácido de la dieta ( <i>Dietary Amino Acid</i> )
AA <sub>tot</sub>	Aminoácido total ( <i>Total Amino Acid</i> )
APE	Exceso de enriquecimiento en nitrógeno ( <i>Nitrogen Enrichment Excess</i> )
AUC	Área bajo la curva ( <i>Area Under the Curve</i> )
BV	Valor biológico ( <i>Biological Value</i> )
CODEX	Comisión del Código Alimentarius ( <i>Codex Alimentarius Commission</i> )
CP	Proteína cruda ( <i>Crude Protein</i> )
DAA	Aminoácido no-indispensable ( <i>Dispensable Amino Acid</i> )
DIAAS	Puntuación de aminoácidos indispensables digestibles ( <i>Digestible Indispensable Amino Acid Score</i> )
DM	Materia seca ( <i>Dry Matter</i> )
EAR	Requerimiento medio estimado ( <i>Estimated Average Requirement</i> )
EHC	Enzima caseína hidrolizada ( <i>Enzyme Hydrolyzed Casein</i> )
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ( <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> )
GC-MS	Cromatografía de gases/espectrometría de masas ( <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> )
<sup>2</sup> H	Deuterio ( <i>Deuterium</i> )
HP	Alto en proteína ( <i>High Protein</i> )
IAA	Aminoácido indispensable ( <i>Indispensable Amino Acid</i> )
IAAO	Indicador de la oxidación de aminoácidos ( <i>Indicator Amino Acid Oxidation</i> )
IRMS	Cromatografía de gases -pirólisis- ratio de isótopo espectrometría de masas ( <i>GC-pyrolysis-isotope ratio MS</i> )
Iv	Intravenoso ( <i>Intravenous</i> )
LP	Bajo en proteína ( <i>Low Protein</i> )

MS	Espectrometría de masas ( <i>Mass Spectrometry</i> )
N	Nitrógeno ( <i>Nitrogen</i> )
NPPU	Utilización neta postprandial de la proteína ( <i>Net Postprandial Protein Utilization</i> )
NPU	Utilización neta de la proteína ( <i>Net Protein Utilization</i> )
Ntot	Nitrógeno total ( <i>Total Nitrogen</i> )
PDCAAS	Puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína ( <i>Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score</i> )
PPU	Utilización postprandial de la proteína ( <i>Postprandial Protein Utilisation</i> )
SD	Desviación estándar ( <i>Standard Deviation</i> )
SID	Digestibilidad ileal estandarizada ( <i>Standardized Ileal Digestibility</i> )
SJRI	Instituto de Investigación de St. John ( <i>St. John's Research Institute</i> )
TD	Digestibilidad verdadera ( <i>True Digestibility</i> )
TID	Digestibilidad ileal verdadera ( <i>True Ileal Digestibility</i> )
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de titanio ( <i>Titanium Dioxide</i> )
UNU	Universidad de las Naciones Unidas ( <i>United Nations University</i> )
WHO	Organización Mundial de la Salud ( <i>World Health Organization</i> )

# Capítulo 1:

## Antecedentes

---

La determinación de los requerimientos de proteína para nutrición humana fue revisada por la FAO, por primera vez, en 1955 (FAO, 1957) y, posteriormente, en 1963 y 1971 con la Organización Mundial de la Salud (OMS) (FAO, 1965 y FAO, 1973); en 1981 con la OMS y con la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) (WHO, 1985); más recientemente, en 2002 con la OMS y la UNU (WHO, 2007). Por separado, pero en relación con este tema, se llevaron a cabo reuniones de expertos sobre la evaluación de la calidad proteica en 1989 con la OMS (FAO, 1991) y por la FAO en 2011 (FAO, 2013).

En relación con la evaluación de la calidad de la proteína, la Consulta de Expertos de 1989 enfocó su atención en el métodos para evaluación de proteína PDCAAS (Puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína, *Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score*) que, entonces, estaba desarrollado recientemente, mientras que la Consulta de Expertos del 2011 revisó ampliamente el método más reciente DIAAS (Puntuación de aminoácidos indispensables digestibles, *Digestible Indispensable Amino Acid Score*) y consideraron las ventajas y desventajas de promover la sustitución del método PDCAAS por el métodos DIAAS. El método DIAAS mide el balance oro-ileal de nitrógeno calculando la digestibilidad ileal de aminoácidos individuales. En contraste, el método PDCAAS usa los valores de digestibilidad fecal cruda para medir el balance de nitrógeno oro-fecal que incluye contribuciones de secreciones intestinales y bacterias del colon, de esa forma subestima la proteína disponible para absorción.

Mientras se llegaba a un consenso en la consulta del 2011 sobre la superioridad conceptual de la digestibilidad ileal frente a la digestibilidad fecal, había preocupación acerca de si existían suficientes datos disponibles sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en un rango amplio de dietas en humanos como para permitir la implementación práctica en un sistema basado en la digestibilidad ileal. Además, aunque los datos sustanciales sobre digestibilidad ileal de aminoácidos habían sido obtenidos de cerdos y ratas, usando una metodología estandarizada para la recolección de muestras del contenido ileal, fue una preocupación que los alimentos usados no fueran representativos de dietas humanas, incluyendo aquellos realizados en países en vías de desarrollo y que los valores de digestibilidad animal eran representativos de los valores en humanos. Para poder manejar estas preocupaciones, la consulta del 2011 estableció dos sub-comités que estaban encargados de informar, después de que la consulta formal finalizara, pero antes de que el informe fuera completado. El primer sub-comité tuvo la tarea de recopilar todos los datos sobre digestión ileal disponibles en humanos y en animales, mientras el segundo sub-comité debía evaluar los datos recopilados para establecer si eran suficientes para garantizar que el cambio de PDCAAS con DIAAS como el métodos preferido en este momento. El segundo sub-comité concluyó que:

“... los datos disponibles actualmente fueron insuficientes para apoyar la aplicación en la práctica... de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en el cálculo de DIAAS” y que “más datos de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos de alimentos para humanos eran necesarios de forma urgente, determinados en humanos y en modelos animales” (FAO, 2012a).

El resultado general de la Consulta de Expertos fue que: “más comparaciones inter-especies (humano, cerdo, rata) de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos eran necesarias con urgencia” (FAO, 2013) y se recomendó que la FAO organizara y convocara un grupo de trabajo de expertos:

“...para acordar un protocolo experimental que permita el desarrollo de una base de datos más robusta sobre la digestibilidad ideal verdadera de aminoácidos en alimentos para humanos...” y que “el protocolo debería incluir las mejores prácticas recomendadas para un ensayo basado en cerdos para la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos” (FAO, 2013).

Además, el segundo sub-comité recomendó que:

“Si los datos obtenidos en estos estudios (como se especifica en el #3) apoyan convincentemente el cambio a digestibilidad ileal, la determinación del impacto potencial de esta recomendación (para ser utilizada en la determinación de fuentes individuales de proteína así como en dietas mixtas comúnmente consumidas por humanos) necesita ser realizada antes de que el nuevo modelo de evaluación sea implementado. Esto debe incluir ganancias o pérdidas potenciales para la salud pública derivadas de la implementación de las nuevas recomendaciones en la determinación de la calidad de la proteína para humanos (FAO, 2012a).

Posteriormente, reconociendo las dificultades para obtener los valores de digestibilidad ileal directamente y a la luz de la mayor aplicación de isótopos estables en la determinación de la utilización de proteína, la FAO amplió la temática del grupo de trabajo “para proveer recomendaciones de los mejores métodos para medir y predecir digestión y eficiencia de utilización de proteínas y aminoácidos en humanos (ver Anexo 6).

La planificación del grupo de trabajo se inició a mitad del 2013, poco después de que el informe de la Consulta de Expertos fuera publicado. Una primera convocatoria a los expertos se anunció en agosto de 2013 pero, debido a un número insuficiente de respuestas de científicos cualificados y la expansión de la temática, una segunda convocatoria se anunció en diciembre de 2013. Las 25 solicitudes recibidas fueron revisadas por dos científicos que no formaban parte de la FAO, y quienes no estuvieron directamente involucrados en la planificación del grupo de trabajo. Cada uno de ellos clasificó a los interesados de acuerdo con los criterios basados en la descripción incluida en el llamado a los expertos. La FAO invitó a los expertos mejor evaluados para asistir y formar parte del grupo de trabajo.

A cada experto se le solicitó cumplimentar una declaración de intereses. De los 10 expertos seleccionados, 6 otorgaron información acerca de actividades de asesoramiento con un número de organizaciones que podrían tener intereses relevantes sobre el tema del grupo de

trabajo. Sin embargo, la FAO no encontró que las actividades representaran un conflicto de interés potencial que justificara la exclusión de alguno de los expertos del grupo de trabajo enfocándose en las metodologías de investigación.

La FAO proporcionó la financiación completa para la reunión del grupo de trabajo de expertos a través de una carta de convenio con el Instituto de Investigación St. John en Bangalore, India, parte integrante de la Academia Nacional de Ciencias de la Salud de St. John que acogió y organizó la logística para la reunión.



## Capítulo 2:

# Introducción e inauguración de la reunión del grupo de trabajo

---

La reunión se llevó a cabo en el Instituto de Investigación de St. John (St. John's Research Institute [SJRI]), un centro de cooperación de la IAEA en Bangalore, India, del 2 al 5 de marzo de 2014. La bienvenida en nombre del SJRI, estuvo a cargo del Dr. Anura Kurpad, seguida de una declaración de bienvenida en nombre de la FAO, por el Dr. Warren TK Lee. Posteriormente, todos los asistentes se presentaron y describieron brevemente el enfoque de su investigación y la relación de éste con los objetivos del grupo de trabajo. La Dra. Janice Albert de la FAO introdujo y explicó el borrador de la agenda y el plan para llevar a cabo la reunión (ver Anexos 4 y 5). La sesión introductoria fue concluida por el Dr. Robert Weisell con la presentación de la historia de la implicación de la FAO con los requerimientos y la evaluación de la calidad de las proteínas, además de una segunda presentación del Dr. D. J. Millward proporcionando una perspectiva de los métodos para determinar la calidad de la proteína que estuvo basada, en gran medida, en un artículo en el *British Journal of Nutrition* (Millward, 2012).



## Capítulo 3:

# Justificación de la reunión del grupo de trabajo

---

A continuación de la inauguración y presentaciones de los participantes, el grupo de trabajo revisó el objetivo de la reunión, que se originó de la Consulta de Expertos de la FAO en 2011. El Dr. Paul J. Moughan, presidente de la Consulta de Expertos de la FAO sobre Evaluación de la Calidad de la Proteína de la Dieta en Nutrición Humana, proporcionó una visión general de los puntos destacados de esta consulta para ser atendidos por este grupo de trabajo, éstos fueron:

1. Identificar uno o varios protocolos experimentales para facilitar el desarrollo de una base de datos más robusta sobre la digestibilidad ileal real de aminoácidos en alimentos para humanos; esto incluiría más datos de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y más comparaciones inter-especies de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos.
2. Los protocolos deberían incluir la mejor práctica recomendada para el análisis de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos basada en ensayos en cerdos, ratas y humanos.
3. Están siendo desarrolladas medidas directas de biodisponibilidad y utilización de aminoácidos que normalmente involucran isótopos estables. Éstas ofrecen información adicional acerca de la calidad de la proteína y que deberían ser consideradas para su desarrollo posterior.

Los participantes discutieron la revisión y solicitaron una mayor aclaración en algunos asuntos. Un experto estuvo en desacuerdo con la palabra “verdadera” para referirse a la digestibilidad y sugirió el término “estandarizada”. El grupo reconoció que existía la necesidad de aclarar la nomenclatura (aparente, verdadera, real, estandarizada) y lo sugirió como un tema para el trabajo posterior.

Dos expertos, que también habían asistido a la Consulta de Expertos de la FAO en 2011, destacaron el informe del segundo sub-comité de la Consulta de Expertos sobre la reunión de la Consulta de Expertos en Nueva Zelanda (FAO, 2012a). Este sub-comité evaluó la conveniencia de usar la digestibilidad ileal por encima de la digestibilidad fecal y, basándose principalmente en el informe del primer sub-comité, encontró que no existían datos suficientes sobre la digestibilidad ileal en humanos para incorporar un cambio de la digestibilidad fecal verdadera de proteína cruda a la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos, en ese momento (FAO, 2012b). Además, el impacto en salud pública que tendría el cambio en la forma de evaluar la proteína, no ha sido evaluado. Se prestó especial atención a la tarea del actual grupo de trabajo.



# Capítulo 4:

## Evaluación de la calidad de la proteína y consideraciones en salud pública

---

El objetivo de la reunión del grupo de trabajo fue la de reunir a expertos en el área de nutrición en proteínas y aminoácidos para actualizar nuestros conocimientos sobre la ciencia relacionada con la proteína y la evaluación de la calidad de la proteína. Sin embargo, los expertos reconocieron la relevancia de la calidad de la proteína para abordar la nutrición y salud pública y sus efectos en los resultados sobre la salud y la nutrición, tema sobre el cual el Dr. Ricardo Uauy realizó una presentación.

Todos los aspectos del papel fisiológico de las proteínas presentan una importancia clave para la definición de su impacto en salud y sus resultados funcionales, ya que la cantidad absoluta de proteína por sí misma no refleja sus efectos nutricionales totales y verdaderos. De primordial importancia es la calidad de la proteína. Funciones importantes del cuerpo, como la inmunidad y las defensas del huésped, el crecimiento lineal y el desarrollo mental asociado a éste, son influenciadas por la calidad de las proteínas. Recientemente, estos temas fueron discutidos del todo en un taller realizado en la primavera del 2012 en la Universidad de Tufts, el procedimiento fue publicado en una sección especial del *Food and Nutrition Bulletin* (FNB, 2013)

Literatura reciente indica que la calidad de las proteínas, y no únicamente la cantidad, es de importancia para apoyar al crecimiento lineal y reduce el retraso del crecimiento de los niños (Ghosh *et al.*, 2012; Timby *et al.*, 1992; Yogman *et al.*, 1982). Se ha dado atención específica a los efectos en el crecimiento y desarrollo infantil debido a los cambios en la alimentación durante la infancia (Heina, 1999; Heine *et al.*, 1996; Jackson *et al.*, 2002, Lien, 2003; Lien *et al.*, 2002; Markus *et al.*, 2002) y los papeles de precursores que tienen aminoácidos específicos, como el triptófano en relación con la serotonina (Borbély y Youmbi-Balderer, 1987; Fernstrom, 2012; Fernstrom, 2013; Fernstrom y Fernstrom, 1995; Fernstrom *et al.*, 2013; Sharp *et al.*, 1992; Yogman *et al.*, 1982) y la tirosina en relación con la adrenalina y noradrenalina. Además, la evidencia que se ha producido en la última década, indica que la mejora en el crecimiento lineal está asociada con un menor riesgo de muerte durante la niñez y con el incremento del rendimiento académico y la productividad laboral en la vida adulta. Un seguimiento a largo plazo de 5 cohortes de países en desarrollo que incluían entre sus resultados el crecimiento lineal, rendimiento académico y productividad en la vida adulta, reveló un efecto significativo del fallo del crecimiento lineal como limitante del nivel educativo, que a su vez está asociado con niveles más bajos de ingresos en la vida adulta (Hoddinott *et al.*, 2008). En uno de estos países, Guatemala, un suplemento de proteína y energía fue comparado con uno que contenía únicamente energía; los resultados sobre la productividad adulta indicaron que el grupo suplementado con proteína y energía alcanzó un mejor nivel educativo e ingresos mayores en la edad adulta. Estos estudios de seguimiento han indicado la necesidad de mejorar la calidad

de los alimentos, considerando el crecimiento lineal y no el peso como el resultado relevante a corto plazo, que impactará la productividad adulta y la salud a largo plazo. Las implicaciones políticas de estos hallazgos apuntan a los primeros 1000 días (desde la concepción hasta los 2 años de edad) como el momento crítico para los beneficios de salud a largo plazo, la productividad y el bienestar de las poblaciones.

# Capítulo 5:

## Relación entre los estudios en animales y en humanos y la vinculación entre ambos

---

El grupo de trabajo se ha enfrentado a la pregunta “¿qué legitimaría el uso de resultados en animales de experimentación para su aplicación en humanos?” Se acordó que había limitaciones en ambos métodos, el animal y el humano. Sin embargo, la meta era abordar y adaptar estas limitaciones.

Mientras se reconocía que los datos en humanos son preferibles, la Consulta de Expertos del 2011 recomendó que la evaluación rutinaria inicial de alimentos para humanos debiera ser más inmediata mediante el uso de la prueba de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (TID), completamente validada, en ensayos en cerdos en crecimiento. El grupo de trabajo consideró que los sistemas de digestión y absorción del cerdo son, de alguna forma, comparables con los de los humanos fisiológicamente, pero no totalmente. Los modelos en cerdos ofrecían oportunidades de desarrollar relativamente rápido, grandes bases de datos de la digestibilidad ileal de aminoácidos en un gran número de alimentos para humanos ya que los métodos han sido estandarizados en todo el mundo. Sin embargo, el grupo de trabajo destacó que la validación de estudios adicionales a los que estaban ya publicados eran necesarios para confirmar el uso de bases de datos de ensayos en cerdos para representar la digestibilidad de los mismos alimentos cuando son consumidos por humanos. Además, se puede asumir que los datos generados se podrían aplicar a adultos humanos sanos, pero no necesariamente a humanos con condiciones específicas (por ejemplo, enfermedad, envejecimiento, desnutrición, enteropatía/malabsorción tropical, parasitosis, embarazo y lactancia).

Recientemente han sido desarrollados métodos isotópicos directos *in vivo*, para determinar la digestibilidad de aminoácidos que se muestran prometedores. En el desarrollo del método isotópico para determinar la digestibilidad de aminoácidos en humanos, la comparación directa debe hacerse con los datos del ensayo de la digestibilidad ileal verdadera en cerdos. Por ejemplo, con los métodos Indicador de la Oxidación de Aminoácidos (*Indicator Amino Acid Oxidation* [IAAO]) y Utilización neta postprandial de proteína (*Net Postprandial Protein Utilization* [NPPU]) proporcionando estimaciones de la digestibilidad de los aminoácidos limitantes en una proteína de la dieta, es más probable que dicha comparación pueda realizarse en un futuro cercano. Los expertos recomendaron que la investigación sea dirigida para comparar los estimados del IAAO y la NPPU de la biodisponibilidad de un aminoácido limitante en humanos y en cerdos con la prueba del ensayo de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en cerdos, para cada aminoácido específico. Además, debe existir una vinculación entre otros métodos potencialmente más convenientes pero, hasta el momento, los métodos isotópicos teóricos para determinar la digestibilidad de aminoácidos, que están

siendo desarrollados, en comparación con la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en cerdos en crecimiento.

# Capítulo 6:

## Características de un método ideal de evaluación de la calidad de las proteínas

---

Previo a la discusión sobre los diferentes métodos disponibles en la actualidad y los protocolos en desarrollo, uno de los expertos propuso un esquema para el desarrollo de cualquier método nuevo para la evaluación de la calidad de las proteínas. Este esquema fue presentado con el desafío de cuáles serían las características de un método “ideal” para determinar la biodisponibilidad de aminoácidos (calidad de las proteínas) en humanos.

Como punto de partida, la definición de biodisponibilidad descrita en el informe de la Consulta de Expertos de la FAO del 2011 (FAO, 2013) fue aceptada con este propósito<sup>1</sup>. La meta era establecer una lista de características y parámetros que pudieran ser usados para guiar la decisión respecto a la idoneidad y potencial aplicación de los métodos disponibles bajo consideración, además de los métodos que pudieran ser desarrollados en el futuro.

La primera característica y más importante fue que el método ideal debería permitir medidas directas en humanos. Sin embargo, fue reconocido, como potencialmente difícil de alcanzar, debido a la escasez de métodos no-invasivos para la medición y las consideraciones éticas. Por tanto, los métodos aplicables a animales pueden ser considerados, siempre que haya sido realizada suficiente investigación de comparación entre especies para desarrollar predicciones precisas de forma aceptable de la biodisponibilidad de aminoácidos en humanos.

El método ideal también debería ser directamente aplicable a humanos en todas las etapas de la vida y condiciones que pudieran afectar a la digestión, absorción y metabolismo de los aminoácidos y, por consiguiente, a la biodisponibilidad. Estas condiciones humanas deberían incluir: entre otras cosas, la edad, el estado de salud, la genética, el entorno, el estado nutricional previo, la parasitosis y otras condiciones.

---

<sup>1</sup>La biodisponibilidad abarca tres propiedades de los alimentos que pueden alterar la proporción de un aminoácido que puede ser utilizada; éstas son:

1. Digestibilidad, que describe la absorción neta de un aminoácido.
2. Integridad química, que describe la proporción del aminoácido que, si fue absorbida, está en una forma útil.
3. Libertad de interferencia en el metabolismo, que resulta de la presencia de sustancias que limitan a utilización del aminoácido en la comida.

De éstas, la mayor causa de variación en la biodisponibilidad es, en la mayoría de los casos, la digestibilidad.

Para ser relevante a las condiciones reales, el método debe ser aplicable para el rango más amplio posible de alimentos para humanos. Desde la perspectiva de salud pública, éste debería implicar la inclusión de alimentos con proteínas de baja calidad (por ejemplo, legumbres y cereales), que representan fuentes comunes de proteínas en personas de bajos recursos. Además, debe ser capaz de captar los efectos de un amplio rango de métodos de cocción y procesamiento en la biodisponibilidad de las proteínas. Se sabe que los métodos de cocción y procesamiento producen factores antinutrientes, como los productos de la reacción de Maillard, que reduce la biodisponibilidad de la lisina y también puede reducir la biodisponibilidad de otros aminoácidos a través de una cantidad de posibles reacciones con almidones, azúcares o componentes minerales de la dieta.

La habilidad de medir la biodisponibilidad de todos los aminoácidos de forma individual es de importancia crítica. Sin embargo, no todos los métodos pueden capturar datos sobre todos los aminoácidos. Por ejemplo, los métodos que miden cambios en la síntesis postprandial neta de proteína puede funcionar bien para un aminoácido limitante indispensable en la dieta (IAA), como la lisina en muchos cereales, aminoácidos azufrados en las legumbres y el triptófano en el maíz, pero no serían aplicables a todos los IAA o a los aminoácidos prescindibles (DAA). Debido a que los aminoácidos indispensables son de mayor importancia, la primera prioridad se daría a la investigación sobre aquellos aminoácidos indispensables que tienen más probabilidad de ser limitantes para los humanos en cada alimento en particular, con el firme reconocimiento de que los aminoácidos prescindibles también son importantes en la nutrición humana y requieren consideración siempre que sea posible.

Cualquier método que sea seleccionado también debe ser aplicable a dietas mixtas para humanos y ser capaz de medir el efecto de la suplementación con aminoácidos. Cuando la calidad global de la proteína de un alimento, o una dieta mixta tradicional, es disminuida debido a la baja biodisponibilidad de un solo aminoácido, la mejora del alimento con fuentes de proteína que suministren el aminoácido limitante, o la suplementación con el aminoácido limitante, puede aumentar drásticamente la capacidad del alimento o la dieta para satisfacer las necesidades de proteínas y aminoácidos para el crecimiento, el rendimiento y la salud humana. Por lo tanto, sería deseable que el método pudiera detectar o medir, o ser usado para calcular el efecto de la complementación o la suplementación con aminoácidos sobre la calidad general de la dieta.

Cualquier método elegido debe permitir una implementación amplia, debido a que esto es necesario para crear una base de datos suficientemente grande de alimentos locales y de métodos de procesamiento/cocción para justificar el cambio de las recomendaciones globales. En este contexto, una implementación amplia significa que el método debe ser aplicable a una amplia gama de usuarios potenciales, es decir, instituciones de investigación, gobiernos e industria con varios niveles de habilidades y conocimientos de los antecedentes. Esto implica que el método debe ser comprensible por estos grupos y la metodología claramente definida para que la introducción de errores sea poco probable.

Una consideración importante para una implementación amplia es que el costo debe ser razonable; de lo contrario, el método no es factible. Además, si se usa directamente en humanos, el método debe ser mínimamente invasivo o el reclutamiento de sujetos de estudio y la aprobación por los comités de ética humana pertinentes, se podría convertir en un factor potencialmente limitante.

Un claro reconocimiento de la Consulta de Expertos de 2011 fue que hay una cantidad muy limitada de datos de digestibilidad ileal de aminoácidos obtenida directamente en humanos y, por lo tanto, cualquier método debe ser validado en animales, en la medida de lo posible. Esto significa que los resultados obtenidos con el método deben ser comparables con métodos muy bien descritos y ampliamente aceptados en la digestibilidad ileal de aminoácidos (Digestibilidad Ileal Verdadera, es decir, TID, o Digestibilidad Ileal Estandarizada, es decir, SID) y La biodisponibilidad en animales, debería dar resultados similares a estos métodos.

Por último, sería ventajoso si el método pudiera ser potencialmente reconocido y aceptado, como mínimo, por la Comisión del Códex Alimentarius. Esto significa que el método puede ganar amplia aceptación y puede ser usado por los organismos reguladores de alimentos en la evaluación de la salud alimentaria y por la industria en las declaraciones nutricionales.

El grupo de trabajo concluyó que el método “ideal” no existe en la actualidad, ya que ningún método cumple todos los criterios. Por lo tanto, el grupo de trabajo propuso que puede ser requerida una combinación de los métodos existentes, por ejemplo, combinar la medición TID de cerdo con IAAO. También se pueden requerir diferentes métodos, dependiendo de los objetivos específicos de investigación o de los alimentos. En última instancia, el objetivo es acumular datos suficientes para permitir el cambio práctico desde el PDCAAS hasta el enfoque DIAAS para evaluar la calidad de la proteína de los alimentos y las dietas humanas.

¿Cuáles serían los componentes de un método “ideal” para la biodisponibilidad de aminoácidos en humanos?

- Medición directa en humanos. Si no es posible, se necesita suficiente investigación entre especies para desarrollar predicciones a partir de la investigación con animales;
- Directamente aplicable en todas las etapas de la vida humana (es decir, edad, estado de salud, genética, ambiente, estado nutricional, otras condiciones);
- Aplicable a una amplia gama de alimentos para humanos y debe captar los efectos del cocinado y otros procesos tecnológicos aplicados a los alimentos;
- Aplicable a todos los aminoácidos individuales. Dando prioridad a los aminoácidos indispensables (IAA) pero es deseable que también incluya los aminoácidos prescindibles (DAA) o la suma de DAA.
- Aplicable en dietas humanas mixtas y suplementación;
- Debe poder implementarse ampliamente, ya que esto es necesario para crear una base de datos lo suficientemente completa de alimentos locales y de métodos de procesamiento y cocinado de alimentos para justificar el cambio de las recomendaciones mundiales;
  - El costo debe ser razonable si se desea que sea factible una amplia implementación;
  - Debe ser mínimamente invasivo, esto es deseable/necesario para una implementación amplia;
  - Validado en animales – los valores coinciden con métodos bien descritos y aceptados de digestibilidad de aminoácidos (SID) y biodisponibilidad.
- Potencialmente reconocible al menos para la Comisión del Codex Alimentarius (CODEX).

El grupo de trabajo adoptó este marco como punto de partida para evaluar y desarrollar varios protocolos de investigación que podrían utilizarse solos o en combinación. Además, los diversos

métodos podrían ser parte de un esfuerzo internacional coordinado para proveer evidencia en apoyo del uso efectivo de DIAAS a futuro.

# Capítulo 7:

## Métodos para medir la digestibilidad de proteínas en alimentos para humanos

---

El grupo de trabajo consideró cinco protocolos que fueron bien probados y utilizados, o que muestra una considerable promesa con futuro desarrollo. Éstos se describen en las subsecciones 7.1 a 7.5 e incluyen:

- Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos
- Indicador de oxidación de aminoácidos (IAAO)
- Utilización postprandial de proteínas (PPU)
- Utilización neta postprandial de proteínas (NPPU)
- Un enfoque de seguimiento dual para medir DIAAS

Debido a que estos métodos abarcan una gama en el estado de desarrollo, se pueden proporcionar diversos niveles de prescripción y detalles. Para los tres métodos iniciales, se dispone de suficiente información, tanto para proporcionar amplios detalles, como sobre la forma de aplicar el método o precauciones y asesoramiento (Ver Anexos 1, 2 y 3).

### 7.1 DIGESTIBILIDAD ILEAL VERDADERA DE AMINOÁCIDOS

La Consulta de Expertos de la FAO de 2011 concluyó que, por ahora, es difícil y costoso determinar la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos directamente en humanos. Por lo tanto, hubo la necesidad de un modelo animal para la determinación más rutinaria de la digestibilidad de aminoácidos.

Se acordó que la rata, al ser un animal nocturno, con un hábito de alimentación selectivo y practicando coprofagia, representa un modelo animal inferior al del cerdo, el cual es un omnívoro que se alimenta de comidas y con una anatomía similar del tracto digestivo (boca a íleo) y fisiología digestiva similar al humano adulto.

Las similitudes entre el cerdo en crecimiento y el humano adulto para la digestibilidad de proteínas y aminoácidos están bien documentadas. Las medidas de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en cerdos y de la digestibilidad ileal de lisina reactiva han sido completamente validadas en estudios en cerdos y han mostrado ser predictores precisos de absorción en este animal. Estudios publicados (basados en cuatro fuentes de proteínas) muestran un acuerdo cercano inter-especies entre cerdos en crecimiento y humanos adultos para la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (Deglaire *et al.*, 2009a; Rowan *et al.*, 1994).

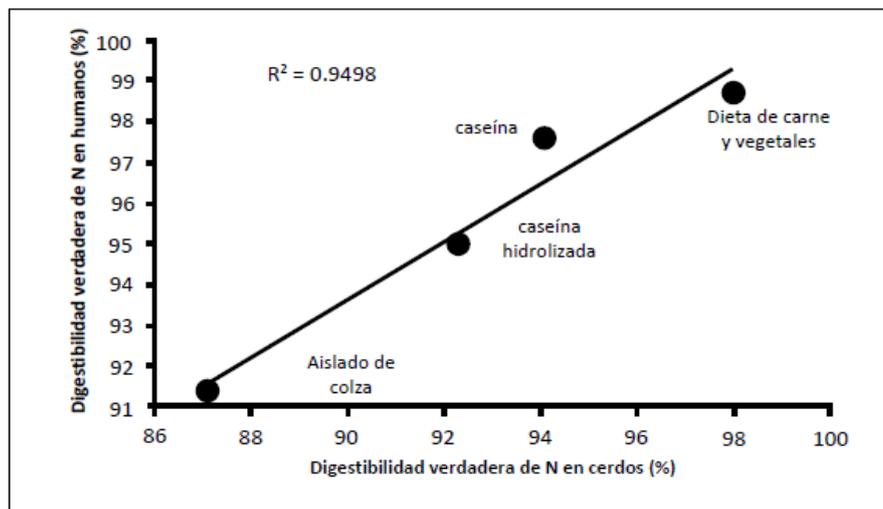
Con ratas, los alimentos deben ser finamente triturados antes de su presentación al animal para evitar la selección de partículas por parte del animal, mientras que el cerdo, generalmente, consumirá los alimentos consumidos por humanos y en la forma que se

presenta para el consumo a humanos. La molienda fina de alimentos para ratas es probable que influya en la digestibilidad de nutrientes. Las ventajas del cerdo como un modelo animal para la predicción de digestibilidad de aminoácidos en humanos fueron detalladas como:

- Excelentes posibilidades de control y estandarización;
- El cerdo proporciona grandes muestras de bolo intestinal ileal;
- Todos los aminoácidos pueden determinarse en un único ensayo;
- Los cerdos comen una amplia variedad de alimentos, incluyendo prácticamente todos los alimentos consumidos por los seres humanos;
- La disponibilidad de laboratorios capaces de realizar ensayos de cerdos;
- Las limitaciones del modelo en cerdos incluyen su costo y futuras posibles restricciones del uso de animales debido a consideraciones éticas.

Además, aunque el proceso de la digestión de proteínas en el cerdo es fisiológicamente similar a la de los humanos, es improbable que sea idéntico. Si bien, no se reflexiona sobre la determinación de la calidad de la proteína en condiciones óptimas *per se*, existe la consideración adicional de salud pública de terminar el efecto que las diferentes condiciones sociales y ambientales pueden tener en la calidad de la proteína recomendada de las dietas para humanos. La condición humana puede ser bastante variable debido a la desnutrición, a la exposición a parásitos y a la enteropatía tropical, etc. Por consiguiente, es probable que la digestibilidad de aminoácidos en humanos sea variable; y la determinación de si se necesita una asignación adicional para la calidad de la proteína, requerirá una medida que se pueda utilizar en seres humanos con estas condiciones.

Se consideró el desarrollo de sólidas ecuaciones de predicción estadística relacionando la digestibilidad de proteínas/aminoácidos determinada en humanos adultos con la determinada en cerdos en crecimiento. Esta relación ha sido publicada (Véase Figura 1), pero el grupo de trabajo consideró que estos datos deberían ampliarse y extenderse por medio de la adición de resultados experimentales para fuentes de proteína adicionales, en particular cubriendo fuentes de proteínas con una digestibilidad ileal verdadera de nitrógeno y aminoácidos baja (<75 %) y media (<85 %). Se discutieron y desarrollaron posteriormente aspectos de la creación de protocolos estandarizados para la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (intubación naso-ileal a los humanos adultos que se les proporciona líquidos y materiales en polvo; ileostomía de adultos humanos para los materiales más gruesos, cerdos en crecimiento canulados y ratas de laboratorio), (ver Anexo 1).

**FIGURA 1. Comparación humano – cerdo en crecimiento**

Una vez que la relación para la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos entre cerdos y humanos ha sido desarrollada en un rango más amplio de valores de digestibilidad, la aplicación del protocolo de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos del cerdo debe ser alentada para desarrollar un conjunto completo de datos de la digestibilidad de aminoácidos de alimentos para humanos. El grupo de trabajo concluyó que sería valioso fortalecer la relación entre los valores de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos entre cerdos y humanos, basados en una amplia gama de alimentos y dietas; lo que potencialmente ampliará la aplicación de la base de datos.

## 7.2 MÉTODO DEL INDICADOR DE OXIDACIÓN DE AMINOÁCIDOS (IAAO)

### Antecedentes

El método IAAO fue discutido en la Consulta de Expertos del 2011 (FAO, 2013). Debido a que es uno de los únicos 2 métodos de bioensayos publicados en humanos que producen datos en biodisponibilidad de aminoácidos en humanos, fue considerado en detalle en la reunión de grupo de trabajo en 2014.

El método IAAO ha sido usado ampliamente para medir los requerimientos de proteínas y aminoácidos en cerdos (por ejemplo, Ball and Bayley, 1986; Moehn *et al.*, 2008) y humanos (véase las revisiones de Elango *et al.*, 2009, 2012a, 2012c; Pencharz and Ball, 2003). El informe de requerimientos de proteínas más reciente (WHO, 2007) señaló la promesa potencial de usar el balance IAAO de 24 horas en lugar de, o en adición al balance de nitrógeno de 24 horas para la determinación de los requerimientos de aminoácidos de los seres humanos. Se desarrolló un método, basado en la técnica IAAO, para medir la disponibilidad metabólica de los aminoácidos limitantes en la dieta de cerdos (Levesque *et al.*, 2010; Moehn *et al.*, 2005, 2007), posteriormente adaptado a humanos (Humayun *et al.*, 2007, Prolla *et al.*, 2013). Los valores de IAAO obtenidos en el cerdo, no son diferentes a los obtenidos a través de digestibilidad ileal “verdadera”. El término “disponibilidad metabólica” se acuñó para describir

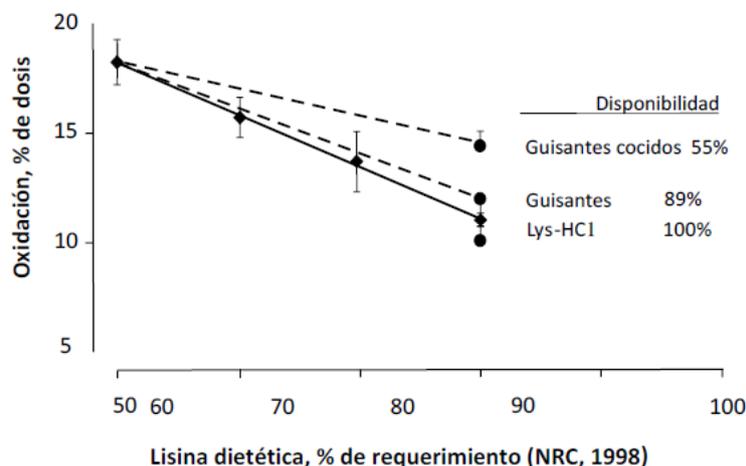
la suma de la digestión general, la absorción y la utilización metabólica para la síntesis proteica de aminoácidos de la fuente de proteína dietética. Esto es aceptado como equivalente a la definición de biodisponibilidad utilizada en el informe de la Consulta de Expertos de la FAO de 2011 (FAO, 2013). La digestibilidad de los aminoácidos tendrá mayor influencia en la respuesta IAAO. Sin embargo, debido a que este método mide un cambio relativo en la síntesis neta de proteínas, cualquier aminoácido en el alimento que no sea disponible, debido a complejos químicos, como las reacciones de Maillard, o la utilización disminuida debido a la interferencia de otros factores en la dieta, o la creación de aminoácidos no-reactivos por métodos de cocción (por ejemplo, el efecto del tratamiento con ácido sobre la metionina y el triptófano), será contabilizado.

El método IAAO se basa en el hecho de que cuando cualquier aminoácido, individual, es limitante para la síntesis de proteínas, que todo el resto de aminoácidos están en exceso y, por consiguiente, deben ser oxidados. El indicador de aminoácidos es mantenido en una ingesta constante; por lo tanto, la disminución en IAAO es lineal con la adición creciente del aminoácido limitante por debajo de la ingesta requerida. Por consiguiente, esta parte de la respuesta también puede utilizarse para probar el cambio en la síntesis neta de proteínas con el aumento en la ingesta de un ingrediente alimenticio en el que un aminoácido es limitante.

#### Cálculo de la biodisponibilidad en experimentos con el Indicador de Oxidación de Aminoácidos (IAAO)

La pendiente de la línea de oxidación para los incrementos del alimento comparada con la pendiente de la línea de oxidación para el mismo aminoácido, suministrado como un aminoácido sintético biodisponible al 100 %, permite el cálculo de relación de las pendientes (Batterham, 1992; Littell *et al.*, 1997). La pendiente de la oxidación obtenida con la forma cristalina del aminoácido de prueba, representa el incremento unitario máximo en la síntesis neta de proteínas y es equivalente a la biodisponibilidad del 100 % del aminoácido de prueba. Una pendiente con menor inclinación indica que hay menos aminoácido por unidad ingesta disponible para apoyar la síntesis neta de proteínas. La relación de las pendientes, por tanto, representa la biodisponibilidad del aminoácido en el alimento. La Figura 2 demuestra la respuesta típica como fue publicado por Moehn *et al.*, 2007.

FIGURA 2. Disponibilidad de lisina en guisantes



La biodisponibilidad de los aminoácidos es calculada por el método de relación de la pendiente como cambio de oxidación por g de aminoácido unido a proteína, dividido por el cambio de oxidación por g de aminoácido libre, utilizando la siguiente ecuación:  $y = a + bSxS + bTxT$ , donde  $xS$  y  $xT$  representan los niveles de ingesta para las fuentes estándar y de prueba, respectivamente; y  $bS$  y  $bT$  son las pendientes para las fuentes estándar y de prueba, respectivamente (Littell *et al.*, 1997). La disponibilidad de la fuente de prueba se calcula, entonces, como  $bS/bT$ .

Existen varias ventajas para el cálculo de este enfoque de relación de pendiente. Debido a que la respuesta medida es un cambio relativo, en lugar que un valor absoluto, esto reducirá el efecto de la variabilidad entre laboratorios. También significa que las diferencias entre las tasas de síntesis neta de proteínas entre los sujetos no tendrán influencia porque los individuos son usados como sus propios controles.

Hay una serie de condiciones clave que deben cumplirse para el uso correcto del IAAO, y el ensayo de relación de pendientes para la biodisponibilidad de aminoácidos. En el Anexo 2 puede encontrarse una descripción de éstos.

#### **Elección del aminoácido indicador**

La elección del aminoácido indicador y las características indispensables y recomendadas de un aminoácido indicador han sido discutidas frecuentemente en publicaciones (por ejemplo, Elango *et al.*, 2012b; Levesque *et al.*, 2010; Zello *et al.*, 1993) y son críticas para dividir sensitivamente la respuesta a ingestas calibradas de prueba entre síntesis de proteínas y oxidación. Los criterios para seleccionar el aminoácido indicador son: a) debe ser un aminoácido indispensable; b) debe tener un carbono marcado con carboxilo que se oxida de forma irreversible tras el catabolismo y se libera a  $^{13}\text{CO}_2$ , que puede ser medido cuantitativamente en el aliento; c) debe tener una reserva pequeña y bien regulada en el cuerpo; y d) no estar involucrado en vías cuantitativamente significativas que no sean la incorporación a la proteína o a la oxidación a  $\text{CO}_2$ . La fenilalanina, en presencia de exceso de tirosina, se ajusta los 4 criterios. L-1- $^{13}\text{C}$ -fenilalanina ha sido utilizada, con éxito, para medir la disponibilidad metabólica en cerdos (Levesque *et al.*, 2007; Prolla *et al.*, 2005, 2007) y en humanos (Humayun *et al.*, 2007; Prolla *et al.*, 2013). Es posible que otros aminoácidos, como la leucina, puedan utilizarse como marcadores pero, hasta la fecha, solo se ha utilizado la fenilalanina en estos protocolos para determinar la biodisponibilidad dietética de aminoácidos.

#### **Metodología IAAO para establecer el vínculo necesario entre la base de datos de la Digestibilidad Ileal Verdadera (TID) en cerdos y los alimentos para humanos.**

Para unir los datos de los resultados sobre biodisponibilidad en humanos del IAAO a la base de datos de la TID en cerdos, los experimentos IAAO correspondientes para biodisponibilidad deben realizarse en cerdos tal y como fue descrito por Moehn *et al.*, 2007. Inicialmente, esto debe llevarse a cabo con un número suficientemente grande de alimentos y con un amplio rango en la biodisponibilidad de aminoácidos para que se puedan desarrollar ecuaciones de predicción sólidas.

Posteriormente, este paso únicamente necesita llevarse a cabo para alimentos que tienen características o biodisponibilidad fuera del rango de referencia de alimentos utilizados en primer lugar para desarrollar correcciones o ajustes en la base de datos de TID en cerdos. Si existe duda acerca de la exactitud del factor de corrección utilizado para cualquier tipo de alimento analizado con el IAAO para biodisponibilidad en humanos, entonces se requiere un experimento IAAO para biodisponibilidad en cerdos.

### **Crítica del protocolo y conclusiones**

El método de biodisponibilidad por IAAO que está basado en suposiciones mínimas que se han validado en animales y seres humanos, se puede utilizar para evaluar todas las fuentes de proteínas y para medir la disponibilidad de aminoácidos individuales. Es un método relativamente no invasivo que requiere, únicamente, el consumo oral del alimento y el isótopo estable, y la recogida de muestras de aliento para el análisis del  $^{13}\text{CO}_2$ ; es, por lo tanto, fácilmente adaptable al uso rutinario para la evaluación de la biodisponibilidad de aminoácidos de proteínas en la nutrición humana, en una variedad de condiciones humanas y en múltiples países. El método produce valores similares para la biodisponibilidad de aminoácidos en el cerdo; específicamente para la lisina, treonina y metionina, a los del método de digestibilidad ileal verdadera (TID) en cerdos, que es más invasivo. Técnicamente, el método se basa en medidas de utilización global de aminoácidos y por lo tanto, un control meticuloso es necesario ya que cualquier factor que afecte diferencialmente la utilización del aminoácido de la dieta de prueba frente a la dieta de referencia, afectará el resultado. Este método también se ha aplicado provisionalmente a seres humanos, pero puede ser necesario algún trabajo adicional de desarrollo de métodos para ser aplicados en humanos, con el fin de que se puedan utilizar métodos muy similares tanto en cerdos como en seres humanos (véase la sección “Metodología IAAO – Humanos” en el Anexo 2). Asumiendo tales desarrollos, este método será capaz de proporcionar los factores de corrección o ajustes necesarios para enlazar los resultados de la TID en cerdos con el modelo humano. Para lograr esto, experimentos idénticos de disponibilidad metabólica IAAO deben llevarse a cabo tanto en cerdos como en seres humanos usando una serie de alimentos idénticos y comparándolos con el método de TID porcino. El inconveniente del método de disponibilidad metabólica IAAO es que sólo mide la disponibilidad de un único aminoácido en el transcurso de un experimento. Por lo tanto, se necesitarían múltiples experimentos para cada alimento. El grupo de trabajo aprobó el método de la IAAO y alentó la realización de nuevas investigaciones en seres humanos y los experimentos propuestos para llevar a cabo las comparaciones necesarias de los cerdos y los resultados humanos descritos anteriormente. De importancia inmediata sería el incremento del número de puntos de datos que representan diversas dietas y alimentos de diferentes grados de digestibilidad.

### **7.3 UTILIZACIÓN POSTPRANDIAL DE LA PROTEÍNA (PPU)**

#### **Antecedentes**

El ensayo de PPU fue desarrollado para determinar la eficiencia global de la utilización de proteínas en el estado postprandial (véase Gibson *et al.*, 1996, Millward, 1998, 2003, 2012; Millward y Pacy, 1995, Millward *et al.*, 2000, 2002 para una discusión detallada de las

limitaciones de los enfoques de infusión de  $^{13}\text{C}$ -1 leucina y del modelo metabólico implicado). El enfoque implica la medición de la oxidación y el equilibrio de la  $^{13}\text{C}$ -1 leucina en respuesta a la alimentación durante una infusión constante de trazas de  $^{13}\text{C}$ -1 leucina. El cambio en el balance de leucina, como proporción del cambio en la ingesta de leucina, representa un valor para la eficiencia de la utilización de proteínas postprandiales (PPU) similar a la utilización neta de proteínas (NPU), pero producirá valores más realistas que los obtenidos con los estudios con la pendiente del balance nitrogenado que se han argumentado para subestimar la utilización de proteínas (Millward, 2003; Millward, 2012).

El proceso incluía dos protocolos. En cada uno, el balance de leucina (ingesta de leucina – oxidación de leucina) es convertido a balance de nitrógeno en base a la leucina – factores de conversión a nitrógeno para la proteína tisular y esto es comparado con la ingesta real de nitrógeno en la comida.

El primer protocolo (Millward *et al.*, 2000) es un ensayo de dos pendientes de ingesta en condiciones estables que consiste en tres periodos consecutivos de 3 horas de ayuno, bajo aporte de proteína y elevado aporte de proteína durante una infusión intravenosa (IV) constante de  $^{13}\text{C}$ -1 leucina. Ambas dietas, la baja en proteína (LP) y la elevada en proteína (HP) son consumidas en pequeñas comidas en intervalos de 30 minutos en un intento de alcanzar un estado metabólico estable. Para que dicho protocolo con comidas LP y HP sea isoenergético, la PPU es influenciada únicamente por la ingesta de proteínas (los niveles de insulina no se cambian durante las dos fases de alimentación) y es calculada de la pendiente de la curva del balance de N entre la alimentación LP y la HP:

$$\text{Es decir, PPU} = \text{NB/NI}$$

El segundo protocolo (Millward *et al.*, 2002) es un ensayo de área bajo la curva (AUC) en condiciones variables que también involucra un protocolo de nueve horas de infusión IV de  $^{13}\text{C}$ -1 leucina. En el caso de este protocolo, se alimenta con una sola comida después de tres horas de la infusión en estado de ayuno, y el incremento acumulado de la oxidación de la leucina sobre el estado basal post-absorción es medido durante las 6 horas siguientes de la comida para dar utilización de nitrógeno, determinada por la ingesta de N – exceso acumulado en la excreción de N. Con este protocolo la PPU es influenciada por el componente de la proteína y de la energía de la comida, con la ingesta de energía incrementando la insulina y suprimiendo la proteólisis. La PPU es calculada del exceso total de oxidación de leucina, el área bajo la curva de la oxidación de leucina entre el nivel de ayuno:

Es decir, PPU = utilización de N/NI

Ambos protocolos produjeron valores similares de PPU para la proteína de la leche y la del trigo con los valores de la comida más abundante levemente menores.

### **Adaptación del protocolo para evaluar la digestibilidad**

Los temas discutidos en la sesión del grupo de trabajo dieron lugar a la pregunta de si este protocolo puede ser adaptado para determinar los dos componentes de la calidad de la proteína; es decir, digestibilidad y valor biológico.

Para poder determinar cuál de los dos protocolos es el más susceptible a cambios en digestibilidad, el recálculo del valor de la PPU puede ser realizado usando las tasas observadas de oxidación de leucina y los valores variables para digestibilidad. En el caso de los dos protocolos descritos anteriormente, se asumió la digestibilidad de la proteína del trigo en el 93 %. En la Tabla 1, que se encuentra a continuación, los valores de la PPU han sido recalculados asumiendo niveles de digestibilidad del 100 %, 93 % (como en los estudios publicados), 80 % y 50 %.

**TABLA 1.** Valores de PPU para el trigo, evaluados con los dos protocolos asumiendo distintos valores para la digestibilidad de la proteína del trigo usada en los estudios

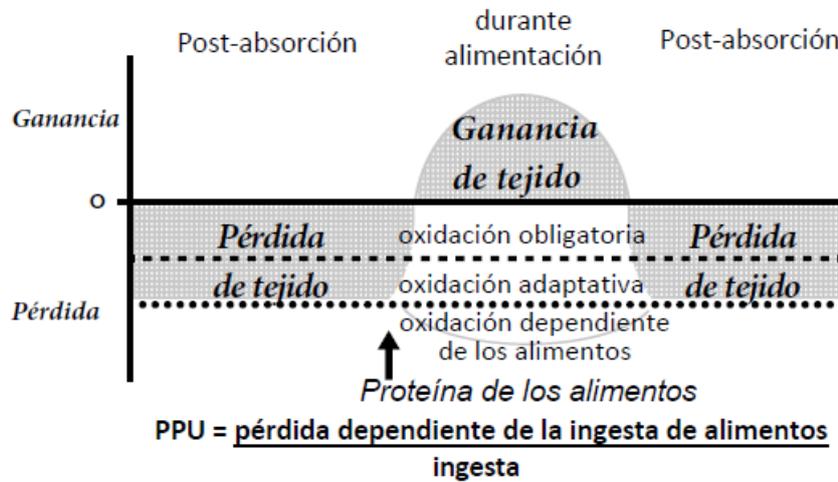
Digestibilidad asumida (%)	PPU comidas pequeñas	PPU comida individual
100	0.71	0.64
93	0.70	0.62
80	0.68	0.55
50	0.60	0.28

El cálculo de la PPU del protocolo para una comida individual es mucho más sensible a cambios en la digestibilidad. Esta diferencia entre los dos métodos refleja la forma en que se calculó la PPU en los dos estudios. Aunque en ambos casos los términos ingesta y balance (ingesta-pérdida) en el cálculo están influenciados por supuestos de digestibilidad del trigo, el cálculo de la pendiente con múltiples comidas pequeñas en condiciones estables (cambio en el balance como una fracción del cambio en la ingesta) es menos sensible que el cálculo del AUC de la determinación absoluta del balance/ingesta de una sola comida abundante. Estos resultados sugieren que un análisis basado en un método de AUC de una sola comida sería el más adecuado para evaluar, por separado, la digestibilidad y el valor biológico de los componentes de la utilización de proteínas. Aunque el protocolo basado en una sola comida examina la suma del efecto de energía y proteína en la utilización proteica, se puede argumentar que este es más relevante en términos de fisiología. Por consiguiente, se propone que el protocolo de una sola comida sea adoptado para examinar los niveles de digestibilidad.

#### **Ensayo sugerido de digestibilidad de proteínas de una sola comida**

El modelo metabólico descrito por Millward, 2003 y Millward *et al.*, 2002 se muestra en la Figura 3.

**FIGURA 3.** Modelo asumido para la determinación de la utilización de proteína durante una sola comida.



La proteína de la dieta provee tanto para las demandas metabólicas obligatorias como para las adaptativas que ocurren a través del ciclo diurno. Se supone que la oxidación de leucina en el estado post-absorción localiza la oxidación total de aminoácidos y excreción de nitrógeno derivada de la pérdida de proteína tisular. La proteína de las comidas es utilizada para proporcionar las demandas obligatorias y adaptativas, y para la ganancia de tejido asociada con la reposición de las pérdidas post-absorción. Cualquier incremento en la oxidación de leucina por alimentación (oxidación dependiente de la comida medida como incremento acumulado en la oxidación de la leucina) representa la ineficiencia de la utilización de la proteína de la comida. La utilización postprandial de proteínas (PPU) se calculó del incremento acumulado en la oxidación y la ingesta de nitrógeno después de convertir la leucina utilizada a nitrógeno para contar las diferencias en la relación leucina-nitrógeno tisular y de la comida.

Para poder evaluar la calidad de la proteína, se debe determinar la digestibilidad de la proteína, del alimento, o de la dieta. Si la PPU de la proteína o de una comida que se analice fuera comparada con la PPU obtenida de una comida que contiene una mezcla de aminoácidos, formulada para igualar la composición de aminoácidos de la proteína de prueba, se puede asumir que cualquier diferencia en la PPU entre la proteína de prueba y la mezcla de aminoácidos será debida únicamente a la digestibilidad. Así, la PPU de la comida con aminoácidos libres reflejará el valor biológico (puntuación de aminoácidos) mientras que la PPU de la comida de prueba reflejará la digestibilidad por valor biológico (BV):

$$\frac{\text{PPU}_{\text{proteína de prueba}}}{\text{PPU}_{\text{mezcla de aminoácidos}}} = \frac{\text{Digestibilidad} \times \text{BV}_{\text{proteína de prueba}}}{\text{BV}_{\text{mezcla de aminoácidos}}} = \text{Digestibilidad}_{\text{proteína de prueba}}$$

Dicho ensayo permite una medición completa de la calidad de la proteína, ya sea de la proteína o de la comida combinada que se evalúa.

### **Crítica del protocolo y conclusiones**

Como se ha indicado anteriormente, este método fue desarrollado, y hasta la fecha ha sido utilizado únicamente, para evaluar el valor biológico de la proteína. Sin embargo, la

descripción hecha ofrece un posible protocolo adaptado que permitiría que la digestibilidad de una fuente única de proteína o una comida combinada sea medida con un grado razonable de confianza. Tiene la ventaja de permitir, adicionalmente, que el valor biológico y de la utilización de la proteína completa sean determinados, y una estimación del requerimiento de proteínas para un grupo de población, aunque no permite que la digestibilidad de aminoácidos individuales sea medida. Se destaca que el valor de PPU y la medida de digestibilidad obtenida con este método es, como todos los otros métodos con isótopos estables propuestos (incluyendo el IAAO y métodos de doble marcador), la utilización de todo el cuerpo y la digestibilidad real en términos de la entrada de aminoácidos en la reserva metabólica circulante de aminoácidos más que una medida de la pérdida del intestino en un punto específico (íleo terminal o ano). Por tanto, es un enfoque diferente y no es estrictamente comparable con los valores ileales o fecales como es medido en el ensayo porcino.

Sus principales limitaciones son: 1) las suposiciones hechas en el cálculo de la oxidación de la leucina (véase Gibson *et al.*, 1996) en las que la vía de entrega del isótopo es intravenosa y, por consiguiente, se salta al intestino delgado y 2) en convertir el balance de leucina en balance de N, por ejemplo, las proporciones leucina-nitrógeno de las ingestas dietéticas (que pueden ser medidas) y de la proteína tisular (que solo pueden ser estimadas). Sin embargo, la cantidad de errores introducidos por factores de conversión incorrectos pueden ser fácilmente calculados. Claramente, debido a que este ensayo no está firmemente establecido, los investigadores pueden desear modificarlo para que se ajuste a sus propios fines y puede requerir estudios adicionales y el desarrollo para determinar la biodisponibilidad de aminoácidos unidos a proteínas. Adicionalmente, aunque este enfoque, tal y como se describe, implica el desarrollo de un protocolo existente para que pueda medir tanto la digestibilidad como el valor biológico en sujetos humanos, el mismo enfoque puede aplicarse, en principio, a modelos animales cuando dichos estudios se consideren apropiados.

#### **7.4 UTILIZACIÓN NETA DE PROTEÍNA POSTPRANDIAL (NPPU)**

##### **Introducción**

La eficiencia nutricional de la utilización de proteínas de la dieta está basada en la medida en que el nitrógeno proteico de la dieta es absorbido y retenido por el organismo mientras equilibra las pérdidas diarias de nitrógeno. La utilización neta de proteínas es el porcentaje del nitrógeno ingerido que se retiene en el cuerpo y se determina mediante la medición de las pérdidas digestivas, metabólicas (urinarias) y misceláneas de nitrógeno. Como la fase postprandial es un periodo crítico de utilización de proteínas dietéticas, la utilización neta postprandial de proteínas (NPPU) que es la retención inmediata de nitrógeno de la dieta, después de la ingestión de comida, representa un enfoque confiable y sensible para la determinación de la eficiencia nutricional de las proteínas dietéticas. La NPPU es una medida de la calidad de la proteína que tiene en cuenta la digestibilidad ileal verdadera del nitrógeno proteico y la fracción de nitrógeno de la dieta absorbido que es retenido en el cuerpo durante la fase postprandial. La NPPU se determina a partir de la diferencia entre el total de nitrógeno proteico alimentario ingerido corregido por la digestibilidad ileal verdadera de nitrógeno y el nitrógeno proteico de la dieta sujeto a desaminación y recuperado en las reservas corporales de urea y nitrógeno urinario.

### Descripción del método

Debido a la presencia de proteínas y aminoácidos endógenos, el enfoque con la NPPU usa una proteína dietética marcada con un isótopo estable y aminoácidos para rastrear la absorción y utilización metabólica de aminoácidos de la dieta ligados a proteínas (Fouillet *et al.*, 2002a; Fuller y Tomé, 2005) y para diferenciarle de las proteínas endógenas, aminoácidos y metabolitos derivados (particularmente amonio y urea) que ya están presentes en el lumen intestinal y en la sangre.

Existen varias maneras de marcar intrínsecamente a las proteínas con isótopos estables, todos ellos comunicados en la literatura (por ejemplo, Bos *et al.*, 2005, 2007; Fromentin *et al.*, 2012; Gausserès *et al.*, 1997; Mahé *et al.*, 1994a). El etiquetado intrínseco y uniforme de las proteínas dietéticas con  $^{15}\text{N}$  (por ejemplo, leche, proteína aislada de soja y trigo) ha sido utilizado, especialmente, para medir la evolución metabólica del nitrógeno de la dieta después de su consumo para permitir la investigación de las transferencias del N postprandial hacia diferentes reservas metabólicas obteniendo muestras en sujetos humanos del bolo ileal, heces, sangre y orina. La NPPU es calculada usando la digestibilidad ileal real y los parámetros de utilización de las proteínas marcadas con  $^{15}\text{N}$  (Tomé y Bos, 2000).

En el método de la NPPU, a los sujetos humanos se les interviene con un catéter venoso y un tubo intestinal con doble lumen que es introducido, a través de la nariz, hasta el íleon terminal. Se utiliza un lumen para perfundir una solución salina de rojo de fenol como marcador no absorbible del flujo de efluentes intestinales y el otro para aspirar muestras de efluentes ileales. Se recogen muestras de sangre basal, orina y efluente ileal. Después de 60 minutos de recogida de la muestra ileal basal, los sujetos reciben una única comida mixta marcada con  $^{15}\text{N}$  ( $^{15}\text{N}$  ingerida). A continuación, durante las 8 horas siguientes a la ingestión de la comida, los efluentes ileales y la orina se recogen continuamente sobre hielo y se reúnen a intervalos de 1 hora; además, se recogen muestras de sangre cada hora.

### Cálculo de la digestibilidad ileal verdadera de nitrógeno y aminoácidos

Se determinan las concentraciones de nitrógeno total, nitrógeno  $^{15}\text{N}$  dietético, aminoácidos totales,  $^{15}$ aminoácido ( $^{15}\text{AA}$ ) y del rojo de fenol en los efluentes intestinales. Los caudales de nitrógeno total (Ntot) y de aminoácidos (AAtot) se derivan de las concentraciones de nitrógeno y aminoácidos y las tasas de flujo ileal:

$$\text{Ntot} = F \times \text{Ns}/100 \quad \text{y} \quad \text{AAtot} = F \times \text{AAs}/100$$

donde F es la tasa de los efluentes ileales, calculada de las concentraciones de rojo de fenol para cada periodo de 1 hora, Ns es en contenido de nitrógeno de la muestra ileal y AAs es el contenido de cada aminoácido en la muestra ileal.

El nivel de pérdidas del nitrógeno dietético presente en las muestras ileales (Ndiet) es determinado de la dilución del marcador isotópico ( $^{15}\text{N}$ ) en las muestras y, de forma similar, la cantidad perdida de los aminoácidos dietéticos (AAdiet) recuperada en las muestras ileales fue calculada para cada aminoácido:

$$\text{Ndiet} = \text{Ntot} \times (\text{APes}/\text{APEm}) \quad \text{y} \quad \text{AAdiet} = \text{AAtot} \times (\text{APes}/\text{APEm}),$$

donde  $N_{tot}$  es la cantidad total de N en la muestra, APEs y APEm son el exceso del enriquecimiento con  $^{15}N$  (es decir, por encima del valor basal) del total de nitrógeno de la muestra y la comida, respectivamente; AAtot es la cantidad de cada aminoácido individual (es decir, péptidos de aminoácidos libres y aminoácidos unidos a proteínas) en la muestra, y APEs y APEm son el exceso del enriquecimiento con  $^{15}N$  de la muestra y la comida, respectivamente.

Las contribuciones del nitrógeno endógeno y de aminoácidos fueron obtenidas de las diferencias entre el nitrógeno y los aminoácidos totales y de la dieta, respectivamente. La digestibilidad verdadera (TD) de nitrógeno y aminoácidos en humanos se calculan de las cantidades acumuladas de nitrógeno y aminoácidos recuperados al nivel ileal y, por consiguiente, que no han sido absorbidas en el intestino delgado, usando la siguiente ecuación:

$$TD = (\text{ingesta} - \text{contenido ileal}) \times 100 / \text{ingesta}$$

donde la ingesta y el contenido ileal con las cantidades acumuladas de nitrógeno o aminoácidos ingeridos y recuperados en el íleon terminal después de 8 horas.

#### **Cálculo de la utilización neta de proteína postprandial (NPPU)**

Se mide la  $^{15}N$  de la dieta transferida a la urea corporal ( $^{15}N$ -urea corporal) y transferida a la orina, principalmente como urea, ( $^{15}N$  urinaria). La NPPU se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ NPPU} = 100 \times [^{15}N \text{ ingerida} - (^{15}N \text{ ileal} + ^{15}N\text{-urea corporal} + ^{15}N \text{ urinaria})] / ^{15}N \text{ ingerida}$$

#### **Resultado de digestibilidad ileal y NPPU de fuentes de proteína**

El método de la NPPU ha sido aplicado a una variedad de diferentes alimentos proteicos (Bos *et al.*, 1999, 2003, 2005, 2007; Gaudichon *et al.*, 1995; Gausserès *et al.*, 1997; Lacroix *et al.*, 2006, 2008; Morens, 2003; Mariotti *et al.*, 1999, 2000, 2002). La digestibilidad verdadera de nitrógeno fue medida para diferentes fuentes de proteína en los siguientes estudios: proteína de leche, 95 % (Bos *et al.*, 2003; Gaudichon *et al.*, 2002; Mahé *et al.*, 1994b); proteína de soja y guisantes, 91 % (Bos *et al.*, 2003; Gaudichon *et al.*, 2002; Gausserès *et al.*, 1997); proteína de trigo, 85-90 % (Bos *et al.*, 2005; Juillet *et al.*, 2008); proteína de colza, 84 % (Bos *et al.*, 2007). Además, los valores de digestibilidad ileal verdadera del nitrógeno y aminoácidos de la dieta fue también medidos después de la ingesta de proteína de leche o de soja, con una digestibilidad de aminoácidos que oscila entre el 91 % (glicina) al 99 % (tirosina) para la proteína de la leche, y del 89 % (treonina) al 97 % (tirosina) para la proteína de soja (Gaudichon *et al.*, 2002).

Un valor promedio del 70 % puede ser considerado como la NPPU de las proteínas de la dieta (Bos, *et al.*, 2005) cuando se determinó bajo condiciones óptimas y controladas en adultos sanos. La comparación de la utilización del nitrógeno inmediato postprandial de diferentes fuentes de proteína en adultos adaptado a un nivel adecuado de ingesta de proteína muestra valores de utilización de proteína postprandial entre 75 y 93 % para proteína de alta calidad, como la proteína de la leche, a valores entre 63 % y 66 % para proteína con calidad menor como la del trigo. Los valores específicos de NPPU obtenidos para leche, aislado de proteína de soja y

trigo fueron: 81 %, 78 % y 66 %, respectivamente (Bos *et al.*, 1999; Bos *et al.*, 2005; Mariotti *et al.*, 1999; Tomé y Bos, 2000).

Además, se calcula la cinética de la aparición de N de la dieta en el efluente ileal, las proteínas plasmáticas, los aminoácidos libres en plasma, la urea corporal, la urea urinaria y el amoníaco urinario utilizando un modelo de 13 compartimentos y 21 parámetros (Juillet *et al.*, 2006). Los cálculos del modelo son bastante complejos, pero permiten predecir la cinética del nitrógeno de la dieta en el cuerpo (Juillet *et al.*, 2006). Tanto el perfil de aminoácidos de la proteína como la cinética de suministro de aminoácidos a la sangre, pueden afectar la absorción postprandial esplácnica y periférica de los aminoácidos en humanos (Deglaire *et al.*, 2009b; Fouillet *et al.*, 2000, 2001, 2002b, 2003, 2009; Juillet *et al.*, 2008). El aumento de la ingesta de proteínas incrementa el uso esplácnico catabólico, mientras que el uso esplácnico catabólico y periférico anabólico están inversamente afectados (Fouillet *et al.*, 2009). Curiosamente, este enfoque muestra un valor nutricional de proteínas alimentarias individuales en el orden: proteína animal (leche) > proteína de legumbres (soja, guisantes) > proteína de cereal (trigo).

### **Crítica del método y conclusiones**

Este método representa un avance importante en la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta. El método NPPU de Tomé *et al.* está muy bien desarrollado en humanos y con aplicación al modelo en cerdos, claramente se podría utilizar para cuantificar los factores necesarios de corrección o ajuste requeridos para calcular los valores DIASS en humanos a partir de estudios del protocolo TID en cerdos. En los casos en que el método existente y bien descrito en seres humanos ha sido replicado en el cerdo, ha habido un excelente acuerdo de los valores obtenidos con los valores TID de cerdos (Deglaire *et al.*, 2009a).

Al igual que otros protocolos ya discutidos, este método de investigación debe extenderse a una gama más amplia de alimentos para humanos, especialmente aquellos con un rango de 50-80 % de digestibilidad de aminoácidos. Esto crearía un enlace viable entre los métodos, debido a que sería posible comparar los resultados de la digestibilidad de las diferentes proteínas, incluyendo las altamente digestibles y las poco digestibles, obtenidas por los diferentes métodos.

Un inconveniente del método es que se basa en el uso de  $^{15}\text{N}$  como marcador, y este isótopo estable es actualmente costoso de producir. Además, se restringe únicamente a alimentos que pueden ser intrínsecamente etiquetados con  $^{15}\text{N}$ . Otro inconveniente es que el método de NPPU actual es inaceptablemente invasivo para su uso generalizado en seres humanos, esto es debido al uso de la técnica de intubación naso-intestinal para recolectar el bolo ileal. Por lo tanto, con la inclusión de este procedimiento invasivo, es poco probable que este método sea ampliamente adoptado para su aplicación rutinaria. Sin embargo, el grupo de trabajo fue informado de que el método podría simplificarse y ser menos invasivo y, por tanto, potencialmente más ampliamente aplicable. Si bien el desarrollo de este método más simple y menos invasivo aún está en marcha, el grupo de trabajo se mostró alentado por esta mejora potencial, ya que parece ser muy prometedora. Una ventaja significativa del método es que con un mismo experimento se producen datos tanto de nitrógeno total como de la digestibilidad individual de los aminoácidos de los alimentos.

## 7.5 UN ENFOQUE DE MARCADOR DUAL PARA LA MEDICIÓN DE DIAAS

### Introducción

La medida de la puntuación de aminoácidos indispensables digeribles (DIAAS) (FAO, 2013) de proteínas en humanos, es difícil debido a la inaccesibilidad del íleon. El enfoque de un marcador dual con isótopos estables que está siendo desarrollado, promete proporcionar un medio mínimamente invasivo para estimar la digestibilidad (sin necesidad de intubación o fistulación del intestino). El método también minimiza la carga al sujeto requiriendo el consumo de una única comida de prueba a partir de la cual, se mide el estado de los aminoácidos en plasma. Además, el método tiene la ventaja de ir más allá de la estimación de DIAAS, que describe en gran medida la biodisponibilidad de proteínas en alimentos o comidas, para permitir la estimación adicional de la utilización de aminoácidos, proporcionando así información sobre otros aspectos de la calidad de la proteína.

El método de marcador dual utiliza el etiquetado intrínseco para permitir el estudio de la digestión de una proteína vegetal específica, independientemente de otras proteínas en la comida de prueba, e independientemente de las proteínas endógenas del cuerpo. Sin embargo, la aparición de aminoácidos en el “pool” accesible (sangre) no es cuantitativa, debido a la captación y metabolismo de estos aminoácidos en el lecho esplácnico. Al acompañar a la proteína de prueba con una pequeña cantidad de una proteína altamente digerible marcada con un isótopo diferente, e ingerida en la misma comida equilibrada, se puede corregir el efecto de la remoción esplácnica. Este principio presenta un medio para desarrollar un procedimiento no invasivo que evite la intubación. La novedad de este nuevo enfoque es el uso de este doble etiquetado donde la medición del estado de aminoácidos de una proteína de prueba es comparada con el de una proteína de referencia. La proteína de referencia será común a todas las mediciones usando este enfoque y se origina a partir de una fuente comercial de proteína unicelular, altamente enriquecida con un isótopo estable. Es importante que la proteína de referencia sea altamente digerible y culturalmente aceptable; la proteína microalgal de calidad certificada cumple con este criterio. Su composición de aminoácidos no necesita ser exactamente igual que a las aceptadas proteínas de alta calidad como la proteína del huevo (o la proteína de la leche humana), ya que pueden aplicarse términos de corrección.

### Etiquetado intrínseco

Existe un precedente del etiquetado intrínseco de alimentos para ensayos en nutrición humana. Para estudios de asimilación de carbohidratos, el almidón de cereales y las legumbres se ha marcado con  $^{13}\text{C}$  (Edwards *et al.*, 2002; Priebe *et al.*, 2008; Verbeke *et al.*, 2010). Para los lípidos y las vitaminas liposolubles, el  $^{13}\text{C}$  y el  $^2\text{H}$  se han aplicado con igual éxito para etiquetar los esqueletos de carbono indispensable (Bluck, 2009; Parker *et al.*, 1993; Tang *et al.*, 2005). Para el etiquetado intrínseco de proteínas, el  $^{15}\text{N}$  ha sido aplicado comúnmente en proteínas microbianas, vegetales y animales (Gaudichon *et al.*, 2002; Picou and Taylor-Roberts, 1969; Stack *et al.*, 1989). El  $^{15}\text{N}$  es inadecuado para rastrear el esqueleto de carbono de los aminoácidos indispensables individuales, ya que la transaminación, posterior de la digestión y

de la absorción, mezcla la etiqueta a través del “pool” de alfa amino. Sin embargo, las proteínas vegetales también pueden marcarse con  $^{13}\text{C}$  o  $^2\text{H}$ .

Dos formas isotópicas de cada aminoácido serían explotadas en este enfoque de etiquetado dual. El deuterio ( $^2\text{H}$ ) y el  $^{13}\text{C}$  pueden ser utilizados igualmente para marcar el esqueleto de carbono de los aminoácidos indispensables. Sin embargo, los costos del marcador, junto con los costos del etiquetado intrínseco de los productos alimenticios, justifican que se debe usar  $^2\text{H}_2\text{O}$  en lugar de  $^{13}\text{CO}_2$  para etiquetar la proteína de prueba. Las legumbres son las fuentes de proteínas bajo consideración actualmente, pero el desarrollo de proteínas marcadas intrínsecamente de otras fuentes es factible y posible. Se está desarrollando un protocolo para facilitar el etiquetado eficiente de las legumbres en crecimiento con la aplicación de uno o más pulsos de  $^2\text{H}_2\text{O}$  en un patrón predeterminado después de la floración.

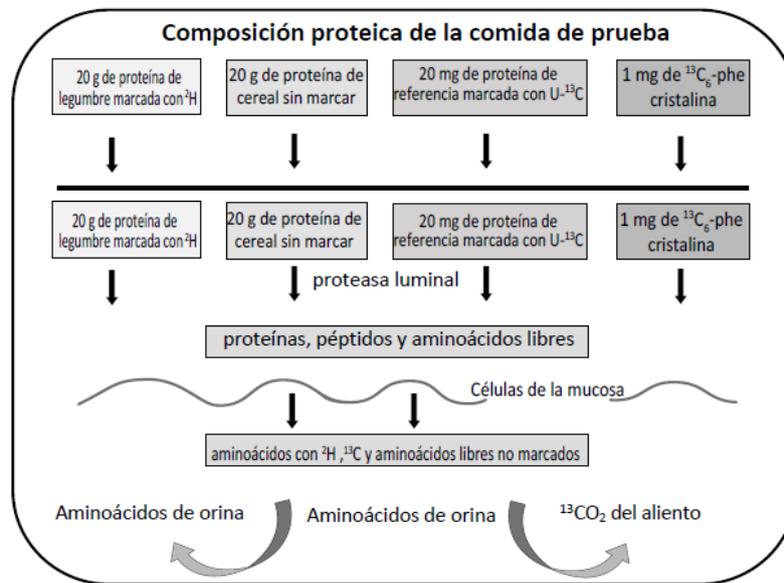
### Comidas de prueba

Las comidas de prueba que comprenden cantidades conocidas (aproximadamente 20 g de proteína) de legumbres marcadas con  $^2\text{H}$  son procesadas y preparadas en las comidas de acuerdo a las prácticas locales de cocinado. Dado que el procesamiento y la preparación de los alimentos afectarán la digestibilidad de la proteína, estas variables serán cuidadosamente consideradas. Se añadirá una mínima cantidad (20 mg de proteína) de una fuente comercial de proteína de una sola célula enriquecida con  $\text{C}^{13}$  (espirulina; *Arthrospira sp.*) como proteína de referencia en cada comida de prueba.

### Protocolo

En los sujetos adultos se llevará a cabo un estudio controlado en el que, después de una comida de prueba, se obtendrán muestras de sangre y aliento durante un periodo de no más de 8 horas (Figura 4). Se pedirá a los sujetos que se presenten en la institución de nutrición después de un ayuno nocturno. Además de las mediciones antropométricas, se les pedirá muestras iniciales de aliento y sangre. Después, los sujetos consumirán una comida de prueba que contiene 20 g de la proteína de legumbre, en grano, bajo análisis, marcada con  $^2\text{H}$ , en una comida equilibrada incluyendo cereales no marcados, verduras y condimentos, junto con 20 mg de una proteína de referencia marcada con  $^{13}\text{C}$  y 1 mg de  $^{13}\text{C}_6$ -fenilalanina cristalina, obtenida de una fuente comercial. Inicialmente, para cada legumbre marcada bajo análisis, se tomarán muestras de sangre y aliento cada 20 minutos durante cuatro horas y, posteriormente, cada hora en un periodo de hasta ocho horas. La frecuencia y duración de la obtención de muestras de sangre será reducida en mediciones posteriores después de que se hayan evaluado los resultados piloto.

FIGURA 4. Prueba de composición de proteína en una comida



### Análisis

Los aminoácidos libres serán aislados del plasma sanguíneo mediante el intercambio catiónico tras la eliminación de proteínas plasmáticas. Los aminoácidos también serán preparados por hidrólisis ácida a partir de muestras de cada proteína de prueba y de referencia. Los derivados volátiles (ésteres de aminoácidos de etoxicarbonil etilo) se prepararán a partir de aminoácidos, previo al análisis de enriquecimiento de  $^{13}\text{C}$  de átomos múltiples mediante espectrometría de masas de cromatografía de gas (GC-MS) y del enriquecimiento de  $^2\text{H}$  con GC-pirólisis isótopo radio MS (IRMS), (MacDonald *et al.*, 2013). Un único átomo de H se pierde de la mayoría de los aminoácidos indispensables (IAA) durante la transaminación, pero este proceso puede predecirse (Commerford *et al.*, 1983) y puede ser asumido un destino equivalente post-digestivo del IAA derivado de la proteína de la comida de prueba (marcado con  $^2\text{H}$ ) y del IAA derivado de la proteína de referencia (marcado con  $^{13}\text{C}$ ). La combinación de los instrumentos analíticos elegidos permite el uso del mismo derivado volátil para ambos análisis, mientras que se usa una muestra mínima para el análisis  $^{13}\text{C}$  con el análisis de  $^2\text{H}$  de bajo nivel por medio de IRMS. Esta estrategia también permite el análisis de diferentes isotopólogos por medio de la GC-MS, para que 1 mg de un aminoácido cristalino con una firma única (probablemente  $^{13}\text{C}_6$ -fenilalanina) se pueda añadir a la comida de prueba y proveer un índice de absorción.

### Resultados y cálculos

Serán derivados una variedad de índices de calidad de proteína:

**Digestibilidad:** para cada aminoácido indispensable en la proteína de la legumbre, la digestibilidad se calculará a partir del AUC del IAA de la proteína de prueba con respecto al IAA en la proteína de referencia.

$$100 \times (\text{AUC } ^2\text{H-IAA} / \text{AUC } ^{13}\text{C-IAA}) \times [\text{comida de prueba } ^{13}\text{C-IAA} / \text{comida de prueba } ^2\text{H-IAA}]$$

Absorción: AUC de la aparición en plasma de  $^{13}C_6$ -phe, normalizado por la dosis de marcador y tamaño corporal, podría ser usada como un índice de absorción.

### **Estudios de validación**

Se realizarán varios estudios de validación. En primer lugar, si la proteína de prueba es la misma proteína que la de referencia pero marcada con  $^2H$ , entonces se puede confirmar la equivalencia del marcador en términos de manipulación esplácnica. En segundo lugar, también se estudiará la disponibilidad de proteínas animales altamente digestibles. Alimentar a una gallina con legumbres, en grano, marcadas, producirá huevos con proteína intrínsecamente marcada con  $^2H$ -IAA. Será usada una comida de prueba basada en proteína de huevo intrínsecamente marcada en un número pequeño de sujetos para demostrar los resultados de calidad de la proteína en una proteína aceptada y altamente digestible. También se propone que las comidas de prueba que contienen proteína de leche marcada con  $^2H$  se evaluarán usando este protocolo. En tercer lugar, se llevarán a cabo estudios de validación con voluntarios adultos intubados. Estos estudios de intubación invasivos proveerán la unión entre los estudios de biodisponibilidad en la literatura y el nuevo método no invasivo de doble marcador. Por último, debido a que la base de datos de biodisponibilidad de proteína más grande existe en animales (ratas, cerdos) se propone que el protocolo de doble marcador, se traduzca a un centro con experiencia en la realización de estudios de digestión ileal en cerdos, con el fin de comparar estimaciones de digestibilidad con ambos métodos. Un protocolo típico puede implicar un diseño en cuadrados latinos donde se evaluarán hasta 6 proteínas de prueba en 6 animales. Las proteínas de prueba se marcarían y se incluirían aquellas con variedad de digestibilidad, incluyendo las legumbres comunes en grano.

Algo importante es que los estudios descritos anteriormente ayudarán a informar el diseño de un protocolo aerodinámico adecuado para uso en estudios más amplios y para uso en niños, con una duración más corta y una menor cantidad de muestras de sangre. Esto dependerá de la aparición coincidente en sangre de los dos marcadores en cada fuente de proteína, como evidencia de que las proteínas en la comida de prueba fueron vaciadas del estómago y expuestas a la digestión del intestino delgado en el mismo periodo de tiempo. Esto añadirá fuerza al uso propuesto a la proporción de aparición de ambos marcadores en IAA individuales, cercano al tiempo de aparición máxima. Si la aparición del marcador es coincidente, entonces la proporción de enriquecimiento de marcador en el momento de aparición máxima se puede utilizar como una aproximación de la proporción de su área bajo la curva (AUC) utilizando una sola muestra de sangre, en contraposición a una serie de muestras tomadas durante un período de 8 horas.

### **El método de doble marcador para medir la DIAAS: estudios más amplios y estudios en pediatría**

Estudios más amplios y estudios en niños se beneficiarán de un protocolo dinámico así como el uso de la menor cantidad de sangre para muestra como sea factible. En caso de que sea posible preparar las comidas de prueba para que los marcadores aparezcan en coincidencia, es teóricamente posible derivar los parámetros de una sola muestra de sangre tomada cerca del momento de la máxima aparición del marcador. A continuación de la fase de validación, el

protocolo será evaluado para determinar si un protocolo más corto, idealmente usando una sola muestra de sangre, se puede adoptar para su uso en niños. Por ejemplo, Evenepoel y cols. (2000) demostraron que la aparición máxima de <sup>13</sup>C-leucina en sangre ocurrió 2 horas después de la ingesta de una comida que contenía proteína de clara de huevo marcada intrínsecamente.

### **Fortalezas y limitaciones del enfoque de doble marcador para medir DIAAS**

El enfoque de doble marcador aborda el requerimiento de medir la biodisponibilidad de aminoácidos indispensables individuales. Este enfoque es relativamente no invasivo, requiriendo una sola extracción de sangre. El enfoque de doble marcador tiene potencial para ser usado en pediatría, especialmente si los marcadores aparecen en coincidencia, facilitando el uso de un número mínimo de muestras de sangre. También se llevarán a cabo estudios para determinar si muestras de saliva u orina pueden ser utilizadas para hacer que estas mediciones sean más aceptables para su uso en lactantes. Los términos de múltiples resultados son factibles además de la digestibilidad. También se pueden obtener parámetros adicionales de la calidad de proteínas, como la utilización de proteínas (oxidación), si se obtienen muestras de aliento además, de las muestras de sangre. Es potencialmente posible, interpretar un análisis de área bajo la curva de aminoácidos no marcados para generar un índice de rotación de aminoácidos indispensables. Finalmente, son accesibles otras medidas, tales como el análisis de la tasa de síntesis fraccional relativa de las principales proteínas plasmáticas.

La principal limitación del enfoque de doble marcador es el costo de obtener proteínas marcadas con isótopos estables junto con el costo del análisis. La Tabla 2 enumera ejemplos del costo de los marcadores representativos. Cabe señalar que estos costes no tienen en cuenta las ineficiencias durante el etiquetado intrínseco de las plantas, que puede ser considerable. El costo de la adquisición de marcadores se mitigará mediante el uso de la espectrometría de masas (MS) de última generación, de manera que se puedan usar cantidades mínimas de marcadores. No se propone aplicar el método en grupos muy grandes, sino en grupos clave con la intención de informar ensayos nutricionales más amplios. Además, cabe señalar que al reducir el número de muestras necesarias para obtener los resultados requeridos, la MS de un solo laboratorio podría apoyar estudios de una amplia zona geográfica.

La necesidad de validación extensiva es otra limitación. Como concepto nuevo, los estudios de validación son necesarios para que el enfoque sea ampliamente aceptado, pero éstos pueden lograrse bajo condiciones controladas y en un pequeño grupo de voluntarios adultos sanos. Una limitación final es la suposición de que en el diseño de doble marcador, la extracción esplácnica es la misma para los aminoácidos derivados de la proteína de prueba y de la proteína de referencia.

**TABLA 2.** Ejemplos de costos actuales de los marcadores (fuente: Cambridge Isotope Laboratories Inc., MA, USA, Marzo 2014)

Materiales para etiquetado vegetal		Marcadores para comida de prueba		
Material	Costo	Material	Costo	Costo/dosis
$^2\text{H}_2\text{O}$	\$ 0.50/g	Espirulina, células completas	\$475.00/g	\$16.50/dosis
$^{13}\text{CO}_2$	\$56.80/g	$^{13}\text{C}_6$ -fenilalanina	\$780.00/0.25 g	\$03.00/dosis
$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	\$48.00/g			



## Capítulo 8

# Consideraciones finales del grupo de trabajo

---

Tras las deliberaciones sobre los protocolos y métodos de investigación, el grupo de trabajo resumió sus recomendaciones generales y consideraciones para el trabajo futuro:

- Los expertos concluyeron que, conceptualmente, la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos, expresada por DIAAS, era preferible a la digestibilidad fecal de la proteína cruda, expresada por PDCAAS, como el método aceptado de evaluación de la calidad de proteínas y aminoácidos. Sin embargo, también reconocieron que el valor completo de DIAAS no podría realizarse hasta que existan suficientes datos de digestibilidad acumulados de alimentos para humanos según lo determinado por las autoridades nacionales y/o internacionales competentes. Es posible que se requiera una reunión de expertos y partes interesadas, para evaluar el tamaño y la calidad del conjunto de datos y determinar el calendario para la adopción completa e implementación del método de DIAAS.
- Para permitir una decisión informada respecto a DIAAS, existe la necesidad de desarrollar una base de datos robusta y completamente accesible sobre la digestibilidad de aminoácidos de alimentos y dietas de diferentes regiones del mundo. Además, existe una necesidad de identificar los alimentos para humanos comúnmente consumidos en las dietas consumidas por poblaciones vulnerables de distintas edades en países de bajos ingresos con la necesidad de realizar estudios múltiples usando las mismas metodologías en diferentes regiones del mundo.
- Antes de tomar una decisión final sobre la adopción del método DIAAS, será necesario revisar los efectos prácticos para las políticas de salud pública y los programas al usar la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (a través de DIAAS) en lugar de la digestibilidad fecal de proteína cruda (a través de PDCAAS). Los trabajos preliminares relativos a las políticas y programas de salud pública podrían iniciarse en un futuro próximo.
- Existe la necesidad de protocolos para evaluar los requerimientos de proteínas en grupos vulnerables con mayores requerimientos debido a cambios fisiológicos como el embarazo, la inflamación crónica y el efecto del saneamiento y la higiene. Además, habrá que desarrollar patrones de referencia para estos grupos vulnerables y aplicarlos a los requerimientos de aminoácidos que se utilizarán con los nuevos datos obtenidos por el método DIAAS.
- En la discusión de los pasos prácticos a seguir, existe la necesidad de identificar fondos para la investigación. Los expertos consideraron que la financiación de los sectores público y privado sería necesaria para llevar a cabo este trabajo y se deberían hacer esfuerzos para promover dicha financiación. Sería más ventajoso que hubiera coordinación de la financiación para la investigación y la recopilación de datos.

- Es necesario fomentar la colaboración con instituciones internacionales y nacionales de investigación agrícola para introducir isótopos estables en diversas plantas. Esto requerirá capacitación y financiación para el equipo de apoyo a las instituciones. Además, con el fin de garantizar la sostenibilidad y la pertinencia, los expertos sugirieron que sería ventajoso que los jóvenes investigadores de los países en desarrollo tuvieran la oportunidad de participar en investigaciones sobre este tema.
- Una recomendación a largo plazo es que existe la necesidad de desarrollar un método que pueda ser utilizado por agencias gubernamentales para regular alimentos específicos en términos de la calidad de proteínas.
- Además, debe ser evaluado el potencial de agregación de las mediciones DIAAS en comidas mixtas y productos preparados que contienen múltiples ingredientes.
- Existe la necesidad de aclarar la nomenclatura relacionada con la digestibilidad (por ejemplo: aparente, verdadera y estandarizada).

## Anexo 1:

# Ensayo de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos: una metodología estándar

---

La Consulta de Expertos de la FAO de 2011 sobre la calidad de las proteínas en nutrición humana, recomendó lo siguiente:

“Se recomienda que la FAO convoque un grupo de trabajo, con carácter de urgencia, para acordar un protocolo experimental para permitir el desarrollo de una base de datos más robusta de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos de alimentos para humanos y acordar un método para la evaluación del impacto potencial del uso de los datos de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos. El protocolo debería incluir las mejores prácticas recomendadas para un ensayo basado en cerdos para la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos”, (FAO, 2013).

Los siguientes protocolos abordan esta recomendación.

### **Ensayo basado en humanos para la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (corregida para pérdidas de aminoácidos basales endógenas)**

**Antecedentes:** La Consulta de expertos de 2011 declaró que “la digestibilidad debería basarse en la digestibilidad ileal verdadera (es decir, determinada al final del intestino delgado) de cada aminoácido, preferiblemente determinada en humanos...” (FAO, 2013). Cuando se va a evaluar alimentos líquidos o no fibrosos en polvo (por ejemplo, caseína, gelatina, zeína), es preferible el método de intubación naso/ileal descrito por Gaudichon *et al.*, (2002). Cuando se va a evaluar alimentos fibrosos y duros (por ejemplo, las alubias cocidas) por lo que un muestreo representativo del bolo y los bloqueos de los tubos pueden ser un problema, el protocolo descrito por Moughan *et al.*, (2008) con ileotomastos adultos es el que debe seguirse; con la fuente de proteína incluida en la dieta general del sujeto durante 7 días antes de la recolección de la digesta. Las pérdidas endógenas pueden ser determinadas de acuerdo con el método descrito por Rowan *et al.*, (1994) donde el sujeto es su propio control.

### **Ensayo basado en cerdos para digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (corregido por pérdidas de aminoácidos basales endógenas)**

**Antecedentes:** La determinación de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en humanos es difícil y costosa. Por consiguiente, es necesario adoptar modelos animales para las evaluaciones de rutina de alimentos. La Consulta de Expertos (FAO, 2013) recomendó el modelo en cerdos como el mejor para el adulto humano, y cuando este modelo no puede ser

aplicado, entonces se sugirió el modelo en ratas en crecimiento. La digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (incluyendo lisina reactiva) es el método preferido en cerdos para predecir la absorción de aminoácidos de la dieta. El ensayo ileal ha sido completamente validado por su aplicación en el cerdo y ahora se usa de forma rutinaria para evaluar la calidad de la proteína de piensos para cerdos y para otros animales de granja de estómago simple. Las investigaciones de Deglaire *et al.*, (2009a) y de Rowan *et al.*, (1994) han demostrado un alto grado de acuerdo para la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos entre los adultos humanos y los cerdos en crecimiento, pero éstas están basadas en un limitado número de alimentos. En vista de ello, la Consulta de Expertos de la FAO en 2011 recomendó que se realicen más trabajos para comparar los valores de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en humanos y en cerdos en crecimiento, usando fuentes de proteínas que sean representativas de las consumidas por poblaciones humanas para, posteriormente, validar a los cerdos como modelo animal. Además, si se va a generar una base de datos mundial sobre la digestibilidad ileal verdadera en alimentos humanos, un protocolo estándar sería de considerable beneficio. A continuación se describe un protocolo estándar, desarrollado por un número de científicos con experiencia en el campo:

### **Protocolo**

Se debe obtener la aprobación de un comité de ética en animales apropiado, y los animales deben ser alojados y atendidos de acuerdo con los requisitos de la organización donde se realicen los estudios.

#### *Animales:*

30-100 kg de cerdos de tipo comercial.

Cánula en T (colocada proximal a la válvula ileocecal).

Mínimo de 5 animales por fuente de proteína de prueba.

Mínimo de 5 días de recuperación de la cirugía.

#### *Protocolo de alimentación:*

Animales adaptados a una dieta apropiada de tipo humano.

Alimentar al 8 % de peso corporal<sup>0.75</sup>/día en dos comidas con un intervalo de  $\geq 9$  horas entre comidas.

Todos los requerimientos nutricionales, excepto proteínas/aminoácidos, deben llenar los prescritos por el NRC (2012).

Mínimo de 5 días de adaptación a la dieta y al entorno.

#### *Agua ad libitum*

#### *Composición de la dieta de prueba<sup>1,2</sup>:*

La proteína de prueba incluida a una concentración CP<sup>3</sup> (proteína cruda) de 100 g/kg de dieta DM (materia seca).

Mezcla de sacarosa purificada, aceite de maíz y celulosa (micro-cristalina) en un ratio de 10:5:3 (180 g/kg DM).

TiO<sub>2</sub> (3 g/kg DM).

Pre-mezcla de vitaminas y minerales con la tasa de inclusión prescrita.

Las dietas se preparan para su total de peso con almidón de maíz purificado.

*La fuente de proteína de prueba debe ser:*

- a) Dar la dieta de una forma similar a la consumida por humanos (apropiadamente molida si es necesario).
- b) Distribuida de forma homogénea en el resto de la dieta.

*Condiciones de vivienda:*

Se alojan individualmente en corrales sin materiales con posibilidad de ser consumidos de tal manera que se asegure que no ocurra coprofagia.

Zona termoneutral.

Ciclo de 12 horas de luz/oscuridad.

*Recolección de la digesta:*

Recolectada en dos periodos de  $\geq 9$  horas, iniciando directamente después de una comida y separada por al menos 2 comidas.

Bolsa de recolección que contenga compuestos antimicrobianos.

La digesta debe ser congelada lo antes posible

La digesta recolectada debe ser agrupada por días y horas de recolección por cada animal.

*Determinación de las pérdidas endógenas:*

Alimentar con una dieta libre de proteínas.

Cada animal es su propio control.

Alimentar a 8 % de peso corporal 0.75/día en dos comidas con un intervalo de  $\geq 9$  horas entre comidas.

---

<sup>1</sup>Con el fin de mantener una concentración de CP de la dieta de 100 g/kg, para los alimentos bajos en proteína, donde la CP es <150 g/kg DM, el ingrediente de prueba puede ser diluido con una mezcla de celulosa y aceite de maíz (1:1). Para alimentos donde la concentración de CP es < 10 g/kg DM CP, la dieta de prueba debe consistir en el ingrediente de prueba, mezcla vitaminas/minerales y TiO<sub>2</sub>.

<sup>2</sup>La composición de la dieta para comparar la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos en cerdos y para humanos puede diferir de la descrita.

<sup>3</sup>La proteína cruda (CP) es estimada en base al contenido determinado de N de la proteína fuente y usando un factor de conversión N a proteína de 6.25.

*Análisis químicos de la dieta y la digesta:*

TiO<sub>2</sub>, aminoácidos<sup>4</sup>, materia seca.

**Ensayo basado en ratas para la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos (corregido por pérdidas de aminoácidos basales endógenas)**

**Antecedentes:** La Consulta de Expertos declaró que “la digestibilidad debe basarse en la digestibilidad ileal verdadera (es decir, determinada al final del intestino delgado) de cada aminoácido, preferiblemente determinada en humanos..., pero si esto no es posible, en cerdos en crecimiento, o en ratas en crecimiento, en ese orden (FAO, 2013). A continuación se describe un protocolo estándar, desarrollado por un número de científicos con experiencia en el campo.

**Protocolo**

Se debe obtener la aprobación de un comité de ética para animales, y los animales deben ser alojados y atendidos de acuerdo con los requisitos de la organización donde se realicen los estudios.

*Animales:*

200 – 250 g de ratas macho de laboratorio (por ejemplo, Sprague-Dawley).

Mínimo de 5 animales por fuente de proteína de prueba.

*Protocolo de alimentación:*

Animales adaptados al entorno, a la dieta y al régimen y alimentados con una dieta apropiada de tipo humano durante 9 días.

Alimentación cada hora (9 veces) de 8:30 a 16:30 con alimentación libre por un periodo de 10 minutos cada hora.

Todos los requerimientos nutricionales, excepto proteínas/aminoácidos, deben cumplir los prescritos por el NRC (1995).

Agua *ad libitum*.

---

<sup>4</sup>Los análisis de aminoácidos deben realizarse de acuerdo con el protocolo estándar descrito por Rutherford y Gilani (20Mínimo de 5 días de adaptación a la dieta y al entorno

*Composición de la dieta de prueba*<sup>5</sup>:

La proteína de prueba incluida a una nivel de 100 g/kg CP<sup>6</sup> (% DM de la dieta).

Mezcla de sacarosa purificada, aceite de maíz y celulosa (micro-cristalina) en una proporción de 10:5:3 (180 g/kg DM).

TiO<sub>2</sub> (3 g/kg DM).

Pre-mezcla de vitaminas y minerales.

Las dietas se preparan para su total de peso con almidón de maíz purificado.

La fuente de proteína de prueba debe ser finamente molida y distribuida de forma homogénea en la dieta de manera que el consumo selectivo de componentes de la dieta no sea posible.

*Condiciones de vivienda:*

Se alojan individualmente jaulas de fondo de alambre para evitar coprofagia.

Zona termoneutral.

Ciclo de 12 horas de luz/oscuridad.

*Recolección de la digesta:*

Asfixia con CO<sub>2</sub> y decapitación o dislocación cervical.

Dissección de la sección del íleon 20 cm antes de la válvula ileocecal.

Lavado de la digesta utilizando agua destilada desionizada.

La digesta recolectada de cada animal debe ser congelada lo antes posible.

El contenido estomacal se revisa para determinar coprofagia.

---

<sup>5</sup>Con el fin de mantener una concentración de CP de la dieta de 100 g/kg, para los alimentos bajos en proteína, donde la CP es < 150 g/kg DM, el ingrediente de prueba puede ser diluido con una mezcla de celulosa y aceite de maíz (1:0.6). Para alimentos donde la concentración de CP es < 10 g/kg DM CP, la dieta de prueba debe consistir en el ingrediente de prueba, mezcla vitaminas/minerales y TiO<sub>2</sub>.

<sup>6</sup>La proteína cruda (CP) es estimada en base al contenido determinado de N de la proteína fuente y usando un factor de conversión N a proteína de 6.25.

*Determinación de las pérdidas endógenas:*

Alimentación con una dieta libre de proteínas

Seguir los mismos procedimiento y alojamiento que se sigue para las ratas alimentadas con la proteína de prueba

*Análisis químicos de la dieta y la digesta:*

Ti, aminoácidos<sup>7</sup>, materia seca

<sup>7</sup>Los análisis de aminoácidos deben realizarse de acuerdo con el protocolo estándar descrito por Rutherford y Gilani (2009)



# Anexo 2:

## Protocolo detallado del indicador de oxidación de aminoácidos (IAAO)

---

### **Metodología IAAO – cerdos:**

Los detalles del protocolo para cerdos han sido descritos en los experimentos publicados por Levesque *et al.*, (2010) y Moehn *et al.*, (2007). Los detalles del protocolo para humanos han sido descritos por Prolla *et al.*, (2013). A continuación, se detallan comentarios y aclaraciones adicionales.

### **Dieta de referencia**

La dieta basal debe consistir en ingredientes altamente digestibles como proteína de suero o caseína para satisfacer aproximadamente el 30 % de los requerimientos dietéticos del aminoácido de prueba. La misma proteína, altamente digestible, debe ser usada como la proteína de referencia en la dieta basal que se utilizará en las pruebas para disponibilidad TID en cerdos y IAAO en los humanos, y para la comparación entre TID en cerdos y en los experimentos en humanos, se debe calcular el DIAAS en humanos de la base de datos ampliada de TID en cerdos.

Los aminoácidos restantes se deben suplementar como aminoácidos libres. Durante el periodo de adaptación del alimento de prueba, debe encontrarse en el patrón de este alimento hasta, al menos, un 120 % del requerimiento del cerdo (NRC, 2012) de acuerdo con la tasa de ingesta del alimento. Durante el periodo experimental, cuando la oxidación se está realizando, todos los aminoácidos libres de prueba deben ser retirados de la dieta y sustituidos, ya sea con incrementos de los aminoácidos de prueba para crear una curva de referencia, o con incrementos de los alimentos de prueba. El resto de aminoácidos se deben dar en la dieta para proveer al menos el 120 % de los requerimientos (ver la Sección 7.2).

### **Primer aminoácido limitante**

El aminoácido de prueba deber ser el primer limitante en la dieta para asegurar que la ingesta del aminoácido de prueba conduce un cambio en el indicador de oxidación. Esto se logra proporcionando todos los demás aminoácidos, en el mismo patrón que la proteína de prueba, aproximadamente al 120 % de las recomendaciones dietéticas (EAR). Esto es aproximadamente 2 DE por encima del requerimiento medio y, por lo tanto, se puede suponer que excede las demandas de la mayoría de la población. Pueden elegirse ingestas mayores al 120 %, si hay incertidumbre acerca de los requerimientos para los aminoácidos o si se espera que su disponibilidad en la proteína de prueba sea muy baja o desconocida.

### **Linealidad de la respuesta de oxidación**

El cambio en el indicador de oxidación para los cambios incrementales en el aminoácido de prueba debe ser lineal para permitir el cálculo de la disponibilidad. Esto se logra restringiendo la ingesta máxima del aminoácido de prueba a no más de 60 a 80 % de la EAR. Esta ingesta es necesaria porque la ingesta debe ser al menos 2 DE por debajo del requerimiento para asegurar que ninguno de los sujetos en la población de estudio satisfaga su demanda del aminoácido limitante. Si la ingesta de un sujeto fuera superior al requerimiento, la pendiente no sería lineal porque la oxidación del aminoácido indicador estaría en la fase alta. La regresión lineal se utiliza para determinar la pendiente de la línea con mejor ajuste.

Siempre se deben realizar pruebas de linealidad para el aminoácido de prueba. El investigador tiene la opción de medir la linealidad de la respuesta del alimento de prueba. Si el alimento está dentro del rango de referencia de los alimentos usados para desarrollar los factores de corrección para TID en cerdos, esto puede no ser necesario y solo se requeriría la ingesta que contiene el 68-80 % del EAR. Sin embargo, si el alimento de prueba está potencialmente fuera del intervalo de referencia de los alimentos utilizados para desarrollar correcciones o ajustes en la base de datos de TID de cerdo, se recomienda que la linealidad de respuesta se realice también para el alimento de prueba.

### **Falta de interacciones**

La respuesta observada no debe estar influenciada por nutrientes de la dieta distintos del alimento que se está probando (Batterham, 1992; Littell, *et al.*, 1995). Por supuesto, si el objetivo del experimento es probar las interacciones entre los alimentos o estudiar la influencia de antinutrientes, entonces estos criterios pueden eliminarse después de caracterizar de forma apropiada la biodisponibilidad de los aminoácidos en el alimento de prueba.

### **Periodo de adaptación**

El periodo mínimo de adaptación para la biodisponibilidad de IAAO de los cerdos debe ser el mismo que el periodo de adaptación utilizado en los experimentos TID en cerdos (ver Anexo 1) para asegurar la comparabilidad de los experimentos y la transferibilidad a la base de datos TID de cerdos. Si el alimento prueba es altamente fibroso, se asume que será mal digerido o que contiene antinutrientes que requieren una adaptación más larga, entonces la información sobre el periodo mínimo de adaptación debe ser obtenida de la literatura o el experimento de oxidación puede repetirse en intervalos para determinar el periodo de adaptación.

### **Estado isotópico estable**

Se debe lograr un estado isotópico estable en la oxidación del aminoácido indicador durante cada prueba individual de oxidación. El porcentaje (%) de la dosis oxidada por unidad de tiempo solo debe calcularse después de que la oxidación alcance una estabilidad, de lo contrario, la medición estará indebidamente influenciada por la velocidad de absorción y transporte de todos los aminoácidos en lugar de la biodisponibilidad del aminoácido de prueba.

### **Sujetos como control propio**

Cada sujeto debe ser utilizado como su propio control en un diseño de medidas repetidas. Cada sujeto de estudio recibe una de las series de 3 o 4 dietas de referencia que suministran el aminoácido libre de prueba (forma cristalina) a incrementos hasta un máximo de 80 % del EAR, como se ha descrito anteriormente. Además, cada sujeto recibe cada una de las dietas de prueba que contienen el aminoácido unido a la proteína. El uso de medidas repetidas en el mismo sujeto reduce el efecto de la variabilidad e incrementa la sensibilidad de la estimación considerando la variación entre sujetos, que se reconoce como al menos el 20 % en los seres humanos (WHO, 2007) y puede aumentar hasta un 30 % (Zello *et al.*, 1993).

### **Requisitos del aminoácido indicador**

Existe una serie de condiciones con respecto a la ingesta del aminoácido indicador que son importantes para la aplicación exitosa de la medición de la calidad de la proteína y la biodisponibilidad de aminoácidos por el método IAAO.

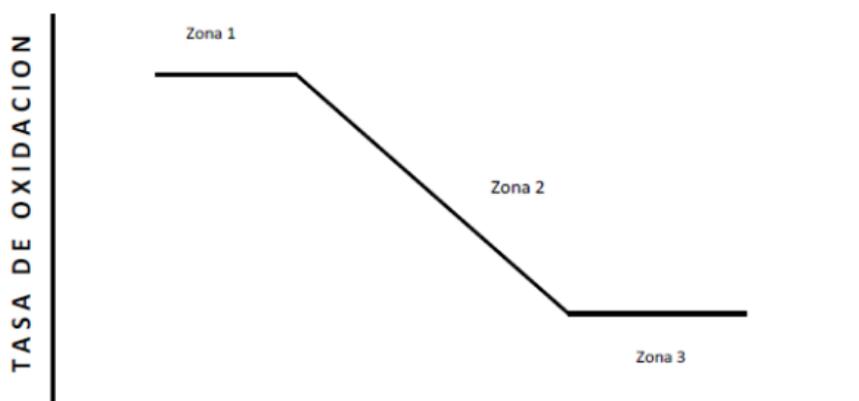
La ingesta del aminoácido indicador, en una base biodisponible, debe ser la misma en todos los niveles de ingesta de la proteína o el aminoácido de prueba. Si el aminoácido indicador no se controla en la misma ingesta en todos los tratamientos, entonces la pendiente de la línea de respuesta puede deberse a cambios en la ingesta del aminoácido indicador en lugar de la ingesta de la proteína o el aminoácido de prueba. Para asegurar la ingesta constante del aminoácido indicador, en una base biodisponible, se requiere el conocimiento de la concentración del aminoácido indicador en los alimentos de prueba y de su biodisponibilidad.

La concentración del aminoácido indicador puede estar determinada por análisis de aminoácidos directos o por tablas de composición de nutrientes. La biodisponibilidad en humanos no se sabrá, a menos que haya sido medida, que es algo poco común. La Consulta de Expertos (FAO, 2013) y el grupo de trabajo concluyeron que los valores de aminoácidos de TID en cerdos fueron altamente correlacionados con los valores de las pocas mediciones existentes en humanos. Por lo tanto, los valores de biodisponibilidad para el aminoácido indicador en la proteína de prueba pueden tomarse de los valores TID publicados para cerdos o de los valores predichos para humanos a partir de los datos en cerdos, cuando éstos estén disponibles. Si no están disponibles para la proteína de prueba, entonces el enfoque preferido será medir TID en cerdos del aminoácido indicador antes de los experimentos IAAO. Si esto no es posible, entonces se debe realizar una estimación, con la condición de que el experimento pueda necesitar repetirse si se observa una estabilidad en la respuesta ya sea en las ingestas más bajas o más altas de la proteína de prueba (ver abajo), indicando que el valor estimado de biodisponibilidad o el aminoácido indicador era demasiado bajo o demasiado alto.

Además de ser constante, la ingesta del aminoácido indicador, en una base biodisponible, no debe ser deficiente o excesiva (ver Figura 5). El indicador amino se excede cada vez más, frente a su requerimiento dietético para síntesis de proteína, a medida que la ingesta de la proteína o el aminoácido de prueba disminuyen. Si la ingesta del aminoácido indicador es realmente excesiva (Zona 1, Figura 5), entonces la pendiente de la línea en las ingestas más bajas de la proteína o el aminoácido de prueba podrían estabilizarse debido a que, en algún punto, la ingesta puede exceder la capacidad oxidativa del cuerpo para el aminoácido indicador. Si la

línea se estabiliza, ya no estará en una pendiente lineal y decreciente (Zona 2, Figura 5), y por lo tanto, los análisis de proporción de la pendiente serán incorrectos. Por otro lado, si la ingesta del aminoácido indicador fuera deficiente (por debajo del requerimiento dietético en una base biodisponible) entonces, a niveles superiores de la ingesta de la proteína o del aminoácido de prueba, la pendiente de la línea también se estabilizaría (Zona 3, Figura 5) porque la síntesis de proteínas estará limitada por la ingesta del aminoácido indicador, en lugar de la ingesta de la proteína o del aminoácido de prueba. Una vez más, el análisis de la proporción de la pendiente será incorrecto. La respuesta mostrada en la Zona 3 también ocurrirá si la ingesta de la proteína o aminoácido de prueba excede su requerimiento dietético, que es lo que sucede durante los experimentos IAAO. Para asegurar que la ingesta del aminoácido indicador no es ni deficiente ni excesiva, la necesidad dietética de la población en estudio debe ser conocida. Para obtener información sobre los requerimientos, se hace referencia al lector a las muchas publicaciones sobre requerimientos de aminoácidos (por ejemplo, WHO, 2007), particularmente las que usaron la oxidación de aminoácidos; porque si esos experimentos usaron dietas basadas en aminoácidos libres, los requerimientos representan el requerimiento de aminoácidos biodisponibles

**FIGURA 5.** La respuesta será no-lineal si la ingesta del aminoácido indicador es excesiva (Zona 1) o deficiente (Zona 3)



### Metodología IAAO – humanos:

El método IAAO para medir la disponibilidad metabólica ha sido descrito por Prolla *et al.*, 2013. A continuación se expone una breve descripción y explicación de asuntos clave y diferencias entre el método de Prolla *et al.*, 2013 y el protocolo recomendado por el presente informe.

### Protocolo para isótopos

Las dietas de prueba deben tener cantidades apropiadas de fenilalanina + tirosina, para asegurar una partición de respuesta sensible entre la síntesis u oxidación de proteínas. La cantidad de L-1[1-<sup>13</sup>C] fenilalanina administrada durante el día de estudio debe restarse del suministro dietético de fenilalanina, de manera que la ingesta total de fenilalanina sea de 30 mg/kg/día con una ingesta de tirosina de 40 mg/kg/día (para asegurar un exceso de tirosina).

Estudios previos en humanos han utilizado dosis de preparación de  $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$  (2.07  $\mu\text{mol/kg}$ ) y L-1[1- $^{13}\text{C}$ ] fenilalanina (99 % de exceso de átomos, 40  $\mu\text{mol/kg}$ ). La dosis continuada de L-1[1- $^{13}\text{C}$ ] fenilalanina será de 15  $\mu\text{mol/kg/h}$ , administrada cada hora hasta la 9ª comida (ver Figura 6). Si se hacen otras elecciones isotópicas, entonces es necesario llevar a cabo estudios adicionales, especialmente linealidad de respuesta tanto al aminoácido de prueba como al aminoácido unido a proteína, para asegurar respuestas adecuadas en la oxidación de aminoácidos indicadores para medir la disponibilidad de aminoácidos.

### **Composición dietética**

Las dietas deben estar diseñadas para proporcionar una ingesta de proteínas de 1.0 g/kg/día. Las dietas deben alcanzar una ingesta de energía de 1.5 x tasa metabólica en reposo, con aproximadamente 52, 36 y 12 % de la energía en forma de hidratos de carbono, grasas y proteínas, respectivamente. Para la duración de todos los experimentos, los sujetos deben consumir un suplemento multivitamínico diario y 500 mg de colina para asegurar la ingesta adecuada de vitaminas.

La dieta del día de estudio debe ser consumida en 9 comidas, con intervalos de una hora, isonitrogenadas e isocalóricas; cada comida representa una duodécima parte de los requerimientos diarios totales de proteína y de energía del sujeto. Cada día de estudio durará 10 horas (ver Figura 6).

### **Prueba de linealidad de las ingestas de aminoácidos libres**

El primer objetivo debe ser el de asegurar que la disponibilidad metabólica se está midiendo durante una respuesta predecible a ingestas graduadas de los aminoácidos de prueba en cada individuo (ver Sección 7.2 Condiciones indispensables para la aplicación del método IAAO para biodisponibilidad de aminoácidos). Por ejemplo, las ingestas recomendadas para probar la linealidad de la respuesta a la lisina podrían estar en el rango de: 10, 15, 20, 25 y 28 mg de lisina/kg/día que alcanzarían el 28.5, 43, 57, 71 y 80 %, respectivamente, del requerimiento medio de lisina en hombres adultos.

### **Dietas basales y de proteínas de prueba**

La dieta basal debe consistir de proteína altamente digestible que alcanza un máximo de 30 % del requerimiento dietético del aminoácido de prueba. Como se describe en el protocolo IAAO de cerdos (ver arriba), el uso de la misma dieta de referencia tanto en humanos como en cerdos permitirá comparaciones entre todos los experimentos y especies. Los aminoácidos restantes deben ser suplementados como aminoácidos libres. Durante el periodo de adaptación a los alimentos de prueba, se proporcionará los aminoácidos libres en el patrón del alimento de prueba hasta un mínimo del 120 % del requerimiento EAR para humanos (WHO, 2007) para el aminoácido más limitante. Durante el periodo experimental, cuando se está llevando a cabo la oxidación, todos los aminoácidos libres de prueba deben eliminarse de la dieta y sustituirse, ya sea con incrementos del aminoácido de prueba para crear la pendiente de referencia o con incrementos de los alimentos de prueba. Todo el resto de aminoácidos deben otorgarse en la dieta para proveer un mínimo de 120 % del requerimiento medio del aminoácido más limitante.

Se debe utilizar un ingrediente altamente digestible como proteína de referencia y como fundamento de la dieta basal. Se recomienda el suero porque tiene un contenido relativamente bajo de fenilalanina y, por lo tanto, se puede estudiar una amplia gama de alimentos con altas concentraciones de fenilalanina. La biodisponibilidad de aminoácidos en proteínas de la leche se ha probado en humanos (Bos *et al.*, 1999) y puede ser adoptada para su uso en el modelo.

La proteína de prueba debe ser incluida en la dieta para proporcionar un máximo del 40 % del total del aminoácido de prueba porque, aproximadamente, 40 % será proporcionado por la EHC en la dieta basal y el restante como aminoácidos libres. Con este protocolo, se pueden probar dietas con disponibilidad de aminoácidos tan baja como del 60 %. Los sujetos experimentales pueden no ser capaces de consumir el 40 % de su requerimiento de proteínas de la proteína de prueba por varias razones. Por ejemplo, ellos podrían no estar físicamente capacitados o dispuestos a consumir esa cantidad de proteína de prueba; esto puede ocurrir si la concentración de proteína o la biodisponibilidad del aminoácido es baja. Alternativamente, puede haber antinutrientes en los alimentos que restrinjan su ingesta. Es posible que sea necesario ajustar la ingesta de acuerdo con ello.

Si la concentración de la proteína de la comida es baja (es decir < 12 %) o su biodisponibilidad de aminoácidos esperada es menor que el 60 %, entonces son posibles dos enfoques; o la ingesta de aminoácidos libres debe ser superior del 120 %, o la inclusión de la proteína de prueba debe proporcionar menos del 40% del total; de lo contrario, los sujetos tendrán una ingesta deficiente del aminoácido de prueba. Los humanos tienen la habilidad de oxidar grandes cantidades de exceso de aminoácidos (Elango *et al.*, 2012b) por tanto, la ingesta de aminoácidos en exceso del 120 % no se considera que sea un problema y, por consiguiente, este enfoque es aceptable. Alternativamente, la inclusión de la proteína de prueba se puede reducir a menos del 40 % y los aminoácidos libres pueden ser suplementados al 120 % o más para asegurar que la ingesta es adecuada incluso para el aminoácido menos biodisponible.

### **Adaptación en respuesta a la proteína de prueba**

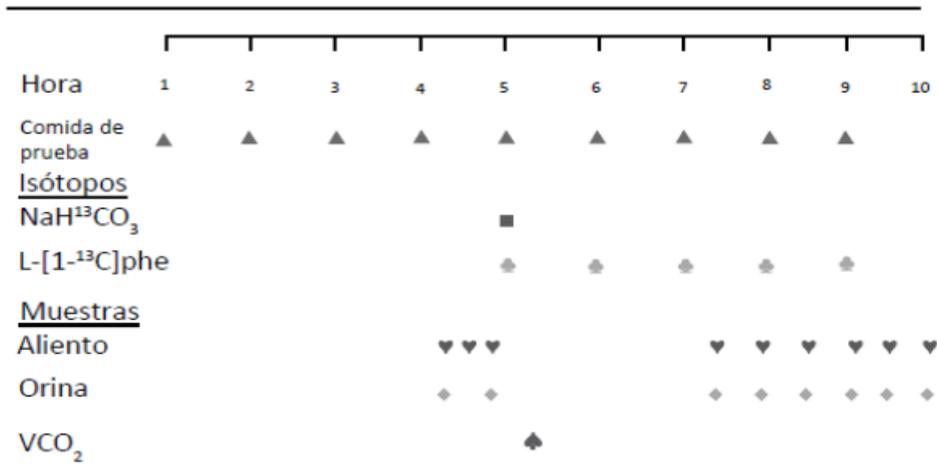
Se puede requerir investigación adicional en el protocolo en humanos para poder establecer la duración del tiempo de adaptación para las proteínas intactas menos digestibles. Los tiempos de adaptación deben publicarse y estar disponibles tan pronto como la investigación esté completa. La adaptación mínima debe basarse, inicialmente, en el protocolo TID en cerdos, es decir, 5 días. Este periodo puede variar con las proteínas de prueba, ya que alimentos más fibrosos pueden requerir un periodo de tiempo adicional para adaptarse y la adaptación puede necesitar ser establecida para algunos alimentos específicos. Adicionalmente, el grupo de trabajo consideró que puede haber situaciones y alimentos para los cuales pueda resultar valioso estudiar tanto las condiciones adaptadas como las no adaptadas.

### **Efecto de la cocción/procesamiento con calor**

La cocción de las dietas para humanos puede resultar en la formación de complejos químicos o en pérdida de aminoácidos, lo que los hace no disponibles para la síntesis de proteína (ejemplo, Prolla *et al.*, 2013). Siempre que sea posible, los alimentos de prueba deben prepararse con el método común de cocción. Si se utiliza una variedad de métodos de cocción

para un alimento de prueba específico, entonces también se debe probar el efecto sobre la disponibilidad individual de aminoácidos. Además, algunos alimentos son cocinados y preparados siempre en mezclas y no son consumidos por separado, por lo tanto, es aconsejable que la comida sea probada por separado, si es posible, de manera que pueda usarse en una base de adición y también sea probada en la mezcla como es cocinada.

**FIGURA 6.** Protocolo para el estudio del IAAO diario en humanos



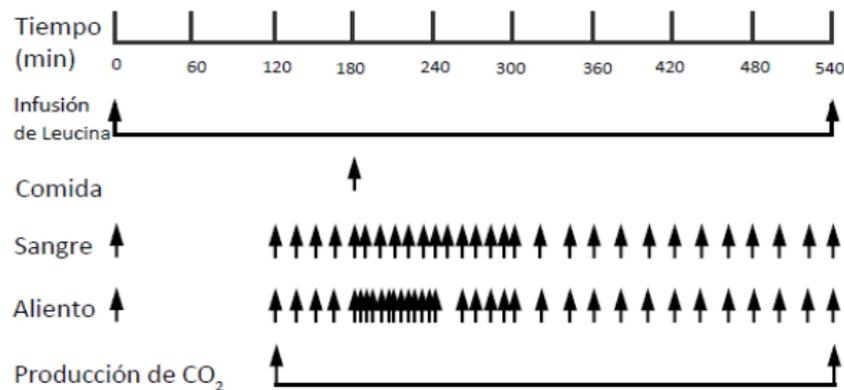


## Anexo 3:

# Protocolo para determinar la utilización postprandial de la proteína (PPU)

El protocolo experimental se muestra en la Figura 7. La infusión de  $^{13}\text{C}$ -1 leucina dura 9 horas y se inicia después de un ayuno nocturno. La única comida se proporciona después de 3 horas y la infusión es continuada durante 6 horas más. Los momentos de toma de muestra de sangre, aliento y producción de dióxido de carbono, dentro de cada período, se muestran en la Figura 7. Esto es discutido a detalle en Millward *et al.*, (2002).

**FIGURA 7.** Protocolo experimental



### Factores del diseño experimental

#### Sujetos

El principio de la medición PPU es que la utilización de proteínas se mide durante el consumo de una comida que representa el 50 % de la ingesta diaria habitual del sujeto. Esto significa que la ingesta de proteínas no supera la capacidad de deposición neta de proteínas que podría limitar la utilización. Si bien no es necesario hacer coincidir con exactitud la ingesta a las ingestas individuales habituales, es importante asegurar que la comida satisfaga razonablemente el 50 % de la ingesta habitual del grupo de población del sujeto. Si esto no se conoce, entonces la ingesta debe ser evaluada mediante un diario de consumo de alimentos de 4 días previos al estudio. Antes del inicio de los estudios, no es necesaria ninguna restricción sobre las actividades de la vida diaria, aunque se debe recomendar a los sujetos a regular sus patrones de alimentación a un ciclo diurno de 12 horas de alimentación y 12 horas de ayuno a partir de la hora prevista de la comida durante el día de estudio. También es importante que la tasa basal de oxidación de la leucina, medida entre 120 y 180 minutos de la

infusión, sea una medición post-absorción verdadera después de un ayuno nocturno con la última comida 10 horas antes del inicio de la infusión.

### Composición de las comidas

**Comida de prueba.** La composición de la comida debe reflejar el objetivo del estudio: es decir, la evaluación de proteína de una sola fuente o de proteína de una comida combinada. Para una proteína de una sola fuente, es mejor que la proporción P: E y la proporción hidratos de carbono-grasa sean estandarizados, aunque puede haber restricciones debido a la necesidad de formular una comida palatable que pueda ser consumida en un corto periodo de tiempo (por ejemplo, 10-15 minutos). Como ejemplos, en un estudio publicado sobre utilización de trigo y leche (Millward *et al.*, 2002) las comidas fueron diseñadas para proporcionar la proteína a un valor proteína-energía relativamente alto: es decir, 0.5 g de proteína/kg y 30 kJ/kg, lo que significa, una proporción proteína-energía de 30 % y el contenido de grasa de la comida se mantuvo tan bajo como fue posible para maximizar el vaciamiento gástrico. De este modo, la comida con la proteína de leche consistió en leche desnatada fresca y dextrosa de patata disuelta con un enriquecimiento natural bajo de <sup>13</sup>C dando proporciones proteína-hidratos de carbono-grasa de 32.2:65.7:2.0. La comida con proteína de trigo consistió en gluten de trigo, harina sencilla y dextrosa de patata con un bajo enriquecimiento natural de <sup>13</sup>C. El gluten de trigo se utilizó para proporcionar un alto contenido de proteínas en un pequeño volumen. Los alimentos se ofrecieron como una tortita seca hecha de masa preparada a partir de un peso igual de gluten que de harina sencilla con agua y se sirvió caliente, acompañada de una bebida que contenía almidón de patata disuelto con una pequeña cantidad de bebida de naranja sin azúcar. En este caso, las proporciones proteína-hidratos de carbono-grasa fueron 36.7:72.3:1.0.

Para el caso de comidas mixtas, especialmente aquellas basadas en fuentes de proteínas vegetales, sería difícil alcanzar 0.5 g de proteína/kg a partir de una única comida que podría ser consumida durante un periodo de tiempo corto, porque esto representaría una fracción importante de la ingesta diaria. Así, para las dietas basadas en legumbres y cereales, las proporciones generales P: E varían de 9-11 % (Millward & Jackson, 2004) de manera que en las ingestas de energía podría decirse, 1.4 x BMR durante la infusión, para un adulto de 70 kg. Esta dieta provee alrededor de 0.75 g de proteína/kg/día. Si la ingesta de proteína es muy baja, entonces el error en la medida del AUC para el incremento en la oxidación de la leucina se hace mayor. Una sola comida basada en el 40 % de la ingesta diaria (50 kJ/kg) podría proporcionar 0.3 g de proteína/kg que es, probablemente, suficiente proteína. Claramente, sería necesario realizar estudios del tamaño de la comida para determinar la exactitud y viabilidad del ensayo.

**Comida control con aminoácidos libres:** Esta comida sirve para determinar el valor biológico (patrón de aminoácidos libres en relación con el de la demanda metabólica) de la comida de prueba. Por lo tanto, debe ser formulada con el mismo patrón de aminoácidos y contenido de la comida de prueba, además con el mismo contenido energético total.

### **Elección y cantidad del marcador**

En este ensayo en el que se utiliza la tasa real de oxidación del marcador en los cálculos, la tasa de oxidación del marcador debe medirse con la mayor exactitud posible. Esto requiere un precursor medible en sangre de  $^{13}\text{CO}_2$  excretado. Por lo tanto, la  $^{13}\text{C}$ -1 leucina es adecuada ya que el enriquecimiento con  $^{13}\text{C}$  del producto de transaminación de leucina-cetoisocaproato es fácilmente medible por técnicas estándar de GC-MS. Se ha demostrado que una tasa de infusión de 0.5 mg/kg/h de L-[1- $^{13}\text{C}$ ] leucina (99 %  $^{13}\text{C}$ ) es suficiente con una dosis de preparación de 0.5 mg/kg. Las reservas de bicarbonato también se preparan con 0.2 mg/kg de  $\text{NaH}^{13}\text{CO}_2$ .



## Anexo 4: Agenda

---

# Reunión del grupo de trabajo de la FAO para el desarrollo de protocolos de investigación para la evaluación de la calidad de la proteína, 2-5 de marzo de 2014

---

---

### St John's Research Institute

#### Antecedentes

La FAO convocó una consulta de expertos sobre la evaluación de la calidad de la proteína de la dieta en nutrición humana en Auckland, Nueva Zelanda del 31 de marzo al 2 de abril de 2011. Un objetivo primordial fue evaluar el método actual de la Puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína (PDCAAS) para expresar la calidad de la proteína y para examinar la idoneidad y conveniencia de sustituirlo por la nueva medida de "Puntuación de aminoácidos indispensables digestibles" (DIAAS). Aunque la Consulta de Expertos concluyó que el método DIAAS era conceptualmente superior al método PDCAAS, también reconoció que había una necesidad de más datos, particularmente relacionados con humanos. La Consulta de Expertos solicitó a la FAO que organizara un grupo de trabajo para desarrollar protocolos de investigación que permitieran la medición de los valores de digestibilidad ileal verdadera a través de diferentes modelos animales (cerdo, rata) y estudios en humanos usando fuentes de proteína que fueran representativas de las que son consumidas por las poblaciones humanas.

#### Objetivo de la reunión

El objetivo de la reunión del grupo de trabajo de 4 días es desarrollar protocolos de investigación específicos y viables relacionados con la evaluación de la calidad de la proteína en los alimentos para humanos.

#### Resultados esperados

Producciones inmediatas:

Los resultados y las producciones esperadas de la reunión del grupo de trabajo son:

1. Un breve informe describiendo las deliberaciones y conclusiones del grupo de trabajo;

2. Protocolos específicos y viables de investigación que posteriormente pueden ser presentados para su financiación;
3. Nota de comunicación informando sobre las recomendaciones del grupo de trabajo presentadas para la publicación en una o más revistas científicas para comunicar a la comunidad científica acerca de los protocolos.

Producciones a largo plazo:

Tras la acumulación anticipada de datos e información resultante de la investigación realizada, la FAO patrocinaría una reunión de expertos sobre la calidad de las proteínas y sus implicaciones para la nutrición humana.

### Agenda provisional

#### DOMINGO 2 de marzo

08:15	Recogida en el hotel	
08:30 – 09:00	Registro <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recibimiento DSA</li> <li>• Acceso WiFi</li> </ul>	Bangalore Meet Secretaria
09:00 – 10:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bienvenida y anuncios administrativos</li> <li>• Bienvenida</li> <li>• Resumen del procedimiento</li> <li>• Presentación de los participantes con una breve descripción de su trabajo relacionado con los objetivos de las reunión</li> <li>• Comentarios sobre la agenda y facilitación de reuniones</li> <li>• Breve explicación del interés y la actividad de la FAO en las necesidades de proteínas y la evaluación de la calidad</li> </ul>	A. Kurpad W. T. K. Lee J. Albert Todos los participantes  J. Albert  R. Weisell
10:30 – 11:00	Descanso	

#### Sesión 1: Justificación del grupo de trabajo- Moderador: R. Ball

11:00 – 12:00	Resumen breve de la Consulta de Expertos de 2011 y puntos destacados para los objetivos del grupo de trabajo	P. Moughan y R. Uauy (Presidente y vicepresidente de la Consulta 2011)
12:00 – 12:30	Discusión	
12:30 – 13:30	Almuerzo	

**Sesión 2: Contexto de evaluación de la calidad de la proteína – Moderador: A. Kurpad**

13:30 – 14:00	Calidad de la proteína – implicaciones para recomendaciones en salud pública y discusión	R. Uauy
14:00 – 14:30	Una perspectiva sobre los métodos para determinar la calidad y discusión	J. Millward
14:30 – 14:45	Descanso	
14:45 – 17:00	Discusión e identificación de los vacíos en investigación	Todos los participantes
	Tarde libre	

**LUNES 3 de marzo****Sesión 3: Métodos para medir la digestibilidad de proteínas en alimentos para humanos- Moderador: D. Tomé**

08:30	Recogida en el hotel	
09:00 – 10:00	Datos actuales disponibles	W. Hendriks / P. Moughan
10:00 – 10:30	Discusión	
10:30 – 11:00	Descanso	
11:00 – 12:00	Determinación de la disponibilidad metabólica de aminoácidos enlazados a proteínas usando la “Técnica de Indicadores de Oxidación de Aminoácidos”	R. Ball/R. Elango
12:00 – 12:30	Discusión	
12:30 – 13:30	Almuerzo	

**Sesión 4: Digestibilidad de la proteína – continua -. Moderador: R. Uauy**

13:30 – 14:30	Determinación de la disponibilidad metabólica de aminoácidos enlazados a proteínas usando proteína estable marcada con isótopos	D. Tomé
14:30 – 15:00	Discusión	
15:00 – 15:15	Descanso	
15:15 – 16:15	Calidad de las proteínas: la promesa de etiquetas intrínsecas con análisis de aminoácidos específicos	T. Preston/A. Kurpad
16:15 – 16:45	Discusión	
18:00	Recogida en el hotel para la cena	
19:00	Cena en el restaurante	

## **MARTES 4 de marzo**

### **Sesión 5: Limitaciones de los métodos actuales- Moderador: J Millward**

08:30	Recogida en el hotel	
09:00 – 10:30	Mesa redonda presentación y discusión – Limitaciones de los modelos animales	W. Hendriks/P. Moughan/R. Ball
10:30 – 11:00	Descanso	
11:00 – 12:30	Mesa redonda presentación y discusión – Limitaciones de los métodos actuales en humanos	D. Tomé/A. Kurpad/R. Elango
12:30 – 13:30	Almuerzo	
13:30 – 14:15	Recorrido por las instalaciones St. Johns	A. Kurpad

### **Sesión 6: El camino a seguir – Moderador: A. T Preston**

14:15 – 15:45	Discusión técnica y preparación de los protocolos Asignación del protocolo del proyecto del informe	Todos
15:45 – 16:00	Descanso	
16:00 – 18:00	Preparación de los protocolos	Grupos de redacción

## **MIÉRCOLES 5 de marzo**

### **Sesión 7: Aprobación del informe- Moderadores: R. Weisell y J. Albert**

08:30	Recogida en el hotel	
09:00 – 10:30	Presentación de los protocolos y oportunidades de financiación	Grupos de redacción asignan un presentador
10:30 – 11:00	Descanso	
11:00 – 12:30	Continuación de la discusión	
12:30 – 13:30	Almuerzo	
13:30 – 15:00	Revisión del proyecto del informe Preparación de la comunicación para su publicación	Todos los que se determinen
15:00 – 15:15	Descanso	
15:15 – 16:00	Aprobación del informe y anexos	Todos
<b>16:00 – 16:15</b>	<b>Clausura</b>	<b>T. Raj y W. T. K. Lee</b>

## Anexo 5:

# Lista de participantes en el grupo de trabajo de la FAO sobre la calidad de las proteínas

---

### Expertos

Dr. Ronald O. Ball  
Profesor emérito de nutrición  
Dept of Agricultural, Food and  
Nutrition Sciences,  
Rm 4-10 Agriculture and Forestry  
Centre  
116 St and 85 Ave  
University of Alberta  
Edmonton, AB T6G 2R3  
Canadá  
Tel: +1-780-662-3826  
Email: [ball@ualberta.ca](mailto:ball@ualberta.ca)

Dr. Rajavel Elango  
Profesor asistente  
Department of Pediatrics  
University of British Columbia  
School of Population and Public  
Health  
Child & Family Research Institute  
BC Children's Hospital  
Rm 170A, 950 West 28th Avenue  
Vancouver V5Z 4H4  
Canadá, British Columbia  
Tel: +1 604-8752000 extension: 4911  
Email: [relango@cfri.ubc.ca](mailto:relango@cfri.ubc.ca)

Dr. G. Sarwar Gilani (solo por  
Skype)  
FAO/CI, FFPAS, Asesor de salud y  
nutrición  
(Home) 506 Caracole Way, Ottawa,  
Ontario, Canada K4A 0W3  
Tel: +1-613-424-6406  
Formerly:  
Senior Research Scientist  
Nutrition Research Division  
Health Products and Food Branch  
Health Canada, Government of  
Canada  
251 Sir Frederick Banting Driveway  
Ottawa, Ontario, Canadá K1A 0K9  
Tel: 1-613-957-0933, Fax: 1-613-  
941-6182  
Email: [Sarwar\\_Gilani@hc-sc.gc.ca](mailto:Sarwar_Gilani@hc-sc.gc.ca)

Dr. Wouter H. Hendriks  
Profesor de nutrición animal  
Wageningen Campus, Building 122  
De Elst 1, 6708 WD Wageningen  
P.O. Box 338, 6700 AH, Países Bajos  
Tel: +31 317 482290  
Email: [wouter.hendriks@wur.nl](mailto:wouter.hendriks@wur.nl)

Dr. Anura V. Kurpad  
Profesor y jefe, División de  
nutrición  
St. Johns Research Institute  
St. Johns National Academy of  
Health Sciences  
Bangalore-560 034  
Kamataka, India  
Tel: +91-8049467000  
Fax: +91-8025501088  
Email: [a.kurpad@siri.res.in](mailto:a.kurpad@siri.res.in)

Dr. Joe Millward  
Profesor emérito de nutrición  
humana  
University of Surrey  
Guildford, Surrey, United Kingdom  
GU2 7XH  
(Home) 28 Orchard Road,  
Twickenham  
Middlesex TW1 1LY, UK  
Tel: +44-1483689297  
Mobile: +44 07909 928623  
Email: [D.Millward@surrey.ac.uk](mailto:D.Millward@surrey.ac.uk)

Dr. Paul J. Moughan  
Co-director y profesor distinguido  
Riddet Institute (PN 445)  
Massey University  
Private Bag 11222, Palmerston  
North  
Nueva Zelanda  
Tel: +64 (0)6-3505560,  
Fax: +64 (0)6-3505655  
Email: [P.J.Moughan@massey.ac.nz](mailto:P.J.Moughan@massey.ac.nz)

**Expertos**

Dr. Tom Preston  
 Profesor de bioquímica de isótopos estables, Universidad de Glasgow  
 Stable Isotope Biochemistry Laboratory, SUERC  
 Rankine Avenue,  
 East Kilbride,  
 G75 0QF UK  
 Tel: +44-1355270108  
 Fax: +44-1355229898  
 Email: [Tom.Preston@glasgow.ac.uk](mailto:Tom.Preston@glasgow.ac.uk)

Dr. Daniel Tomé  
 Profesor de nutrición humana  
 AgroParisTech  
 16 rue Claude Bernard  
 75005 Paris, Francia  
 Tel +33-144081718  
 Fax +33-144087248  
 E-mail: [tome@agroparistech.fr](mailto:tome@agroparistech.fr)

Dr. Ricardo Uauy  
 Profesor de Pediatría,  
 Departamento de Pediatría  
 Pontifical Catholic University,  
 Santiago Chile.  
 & Professor Public Health Nutrition  
 London School of Hygiene and  
 Tropical Medicine  
 University of London, London, UK  
 (Formerly Professor, Institute of  
 Nutrition and Food Technology  
 (INTA) University of Chile, Santiago,  
 CHILE  
 Tel: 1- 214 329 1550  
 Email: [druauy@gmail.com](mailto:druauy@gmail.com)

**Secretaria de la FAO**

Janice Albert, Ph.D.  
 Nutrition Division (ESN)  
 Economic and Social Development  
 Department  
 Food and Agriculture Organization  
 of the United Nations  
 Viale delle Terme di Caracalla  
 00153 Roma, Italia  
 Tel: 39 06 570 53552  
<http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/en/>

Robert Weisell, Ph.D.  
 Consultor/asesor internacional de la FAO  
 Viale delle Ginestre 8  
 Ariccia (RM) 00040, Italia  
 Tel: +39-339 8755863  
 Email: [rcweisell@gmail.com](mailto:rcweisell@gmail.com);  
[robert.weisell@fao.or](mailto:robert.weisell@fao.or)

Warren T.K. Lee, Ph.D.  
 Oficial de nutrición  
 Nutrition Division (ESN)  
 Economic and Social Development  
 Department  
 Food and Agriculture Organization  
 of the United Nations  
 Viale delle Terme di Caracalla  
 00153 Roma, Italia  
 Tel: 39 06 570 54077  
<http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/en/>

**Secretaria de St John's Research Institute (SJRI)**

Dr. Tony Raj (representante administrativo)  
 Vice Dean – SJRI St. John's Research Institute  
 Bangalore - 560 034; India  
 Tel: +91 80 4946 7057  
 Fax: +91 80 25501088  
 Email: [tonyraj@sjri.res.in](mailto:tonyraj@sjri.res.in)

Dr. Indu Mani  
 Profesor de nutrición  
 St John's Research Institute  
 Bangalore - 560 034; India

Deepak Thounaojam, gerente de planificación y estrategia  
 Email: [deepakt@stjohns.in](mailto:deepakt@stjohns.in)  
 Dr. Kedar Radhakrishna, Sr. Resident  
 Email: [kedar@sjri.res.in](mailto:kedar@sjri.res.in)  
 Dr. Dhinakaran, Sr. Resident  
 Email: [dhina@sjri.res.in](mailto:dhina@sjri.res.in)  
 Dr. Ryan Fernandez, Sr. Resident  
 Email: [ryan@sjri.res.in](mailto:ryan@sjri.res.in)

**Observador**

Christine Slater, Ph.D.  
Especialista en nutrición  
Nutritional and Health-related  
Environmental Studies Section  
Division of Human Health  
Department of Nuclear Sciences  
and Applications  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre, PO  
Box 100, 1400 Viena, Austria  
Email: [C.Slater@iaea.org](mailto:C.Slater@iaea.org) |  
T: (+43-1) 2600-26059 | F: (+43-1)  
26007  
Follow us on [www.iaea.org](http://www.iaea.org)



منظمة  
الأغذية والزراعة  
للأمم المتحدة

联合国  
粮食及  
农业组织

Food and Agriculture  
Organization of the  
United Nations



Organisation des  
Nations Unies pour  
l'alimentation et  
l'agriculture

Продовольственная и  
сельскохозяйственная  
организация  
Объединённых Наций

Organización de las  
Naciones Unidas para la  
Alimentación y la  
Agricultura

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy

Fax: +39 0657053152

Tel: +39 0657051

[www.fao.org](http://www.fao.org)

Our Ref:

Your Ref:

## Anexo 6:

# Segunda convocatoria de expertos Jornada técnica de la FAO sobre la evaluación de la calidad de las proteínas

### Convocatoria a los expertos

Como continuación a la revisión de 2011 sobre la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en nutrición humana\*, la FAO está en proceso de identificar expertos para participar en un grupo de trabajo para hacer consideraciones adicionales sobre un tema crucial de la revisión de 2011 y proporcionar recomendaciones sobre los mejores métodos para medir y predecir la digestión y la eficiencia de la utilización de proteínas y aminoácidos en los seres humanos.

Se espera que los expertos participen en una reunión de 4 días en el Instituto de Investigación St. John's de Bangalore, India, a principios de marzo de 2014 (fechas por determinar).

Los solicitantes deben cumplir los siguientes criterios generales:

- Título universitario superior en ciencias de la nutrición, ciencias de la alimentación, áreas relacionadas o grado de medicina.
- Experiencia con modelos/ensayos *in vitro/in vivo* para la digestión y eficiencia de la utilización de proteínas o aminoácidos.
- Publicaciones científicas en revistas científicas revisadas por pares, en particular, publicaciones relevantes en los últimos 10 años.
- Buen conocimiento del idioma inglés, tanto escrito como oral.
- Es deseable liderazgo o participación por invitación en órganos científicos nacionales o internacionales, comités y otros órganos consultores pertinentes al alcance de este trabajo.
- Experiencia en determinación de los requerimientos de proteínas y aminoácidos en humanos.

## **Selección de expertos**

La FAO otorga un gran valor a la calidad técnica y la independencia de los expertos participantes, así como a la transparencia de su proceso de selección. La FAO dispone de un procedimiento de selección de expertos que promueve la excelencia y la independencia de las opiniones proporcionadas.

El *currículum vitae* de los candidatos se revisará con base a los criterios enumerados anteriormente, por un panel de selección formado por tres o más personas, incluidos al menos dos expertos externos independientes e internacionalmente reconocidos, designados por la FAO. Al seleccionar expertos, la FAO considerará, además de la excelencia científica y técnica en el tema de la revisión, una representación geográfica equilibrada, incluyendo a los países en desarrollo y desarrollados, así como de género. Podrán solicitarse a los expertos seleccionados el ayudar en la preparación de los documentos de antecedentes.

## **Nombramiento de los expertos**

Se invitará a los expertos a contribuir únicamente en su capacidad científica individual. Un experto no representará al gobierno del país de donde sea ciudadano o la institución con la cual esté asociado. Los expertos designados no recibirán remuneración alguna; sin embargo, los costes de traslados, dietas y otros gastos relacionados serán responsabilidad exclusiva de la FAO.

## **Aplicaciones**

Los interesados deberán presentar su *currículum vitae* (CV) a la División de Nutrición de la FAO, en la dirección que se indica a continuación.

El CV debe incluir una descripción de la educación y experiencia laboral y una lista de publicaciones revisadas por pares que sean relevantes para los factores indicados anteriormente (por favor, no incluir reimpressiones en su solicitud, a menos que sea solicitado específicamente en una fecha posterior).

Antes de participar en cualquier actividad relacionada, los expertos seleccionados deberán declarar todos los intereses relacionados con los temas que serán evaluados, mediante la cumplimentación de un formulario estándar desarrollado por la FAO. Se le pedirá que indique por escrito cualquier interés (financiero e intelectual) de su parte o de su cónyuge que pueda afectar su independencia científica como experto, incluyendo una o más de las siguientes condiciones: empleo (pasado o presente) por cualquier empresa comercial o asociación del sector privado o civil; beneficiario de becas de investigación u otros estudios por parte de dichas empresas o asociaciones; o participaciones en empresas comerciales activas en ámbitos relacionados con la nutrición. Estas declaraciones serán evaluadas y conservadas por la secretaría de la FAO. Además, también deberá firmarse un compromiso de confidencialidad para garantizar el tratamiento adecuado de los expedientes y la información de propiedad.

## **Fecha límite**

Las solicitudes deberán enviarse a la FAO antes del **17 de enero de 2014**.

\* Enlace al informe de una Consulta de Expertos de la FAO sobre la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en nutrición humana y los dos informes del sub-comité:

<http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>

<http://www.fao.org/ag/humannutrition/nutrition/63158/en/>

Enviar solicitudes y consultas a:

Janice Albert, PhD

Oficial de Nutrición, División de Nutrición C242

Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracolla

00153 Roma, Italia

Teléfono: +39 06 570 53552

Fax: +39 06 570 54593

Si es posible, es preferible que se envíe la solicitud por email.

Email: [janice.albert@fao.org](mailto:janice.albert@fao.org)

Diciembre, 2013.



## Referencias

---

- Ball, R.O. & Bayley, H.S.** 1986. Influence of dietary protein concentration on the oxidation of phenylalanine by the young pig. *British Journal of Nutrition*, 55: 651–8.
- Batterham, E.S.** 1992. Availability and utilization of amino acids for growing pigs. *Nutrition Research Reviews*, 5: 1–18.
- Bluck, L.J.C.** 2009. Recent progress in stable isotope methods for assessing vitamin metabolism, *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12: 495–500.
- Borbély, A. & Youmbi-Balderer, G.** 1987. Effects of tryptophan on human sleep. *Interdisciplinary Topics Gerontology*, 22: 111–27.
- Bos, C., Airinei, G., Mariotti, F., Benamouzig, R., Bérot, S., Evrard, J., Fénart, E., Tomé, D. & Gaudichon, C.** 2007. The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans. *Journal of Nutrition*, 137: 594–600.
- Bos, C., Juillet, B., Fouillet, H., Turlan, L., Daré, S., Luengo, C., N'tounda, R., Benamouzig, R., Gausserès, N., Tomé, D. & Gaudichon, C.** 2005. Postprandial metabolic utilization of wheat protein in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 87–94.
- Bos, C., Mahé, S., Gaudichon, C., Benamouzig, R., Gausserès, N., Luengo, C., Ferrière, F., Rautureau, J. & Tomé, D.** 1999. Assessment of net postprandial protein utilization of <sup>15</sup>N-labelled milk nitrogen in human subjects. *British Journal of Nutrition*, 81: 221–6.
- Bos, C., Metges, C.C., Gaudichon, C., Petzke, K.J., Pueyo, M.E., Morens, C., Everwand, J., Benamouzig, R. & Tomé, D.** 2003. Postprandial kinetics of dietary amino acids are the main determinant of their metabolism after soy or milk protein ingestion in humans. *Journal of Nutrition*, 133: 1308-15.
- Commerford, S.L., Carsten, A.L. & Cronkite, E.P.** 1983. The distribution of tritium among the amino acids of proteins obtained from mice exposed to tritiated water. *Radiation Research*, 94: 151–5.
- Deglaire, A., Bos, C. & Tomé, D.** 2009a. Ileal digestibility of dietary protein in the growing pig and adult human. *British Journal of Nutrition*, 102: 1752–9.
- Deglaire, A., Fromentin, C., Fouillet, H., Airinei, G., Gaudichon, C., Boutry, C., Benamouzig, R., Moughan, P.J., Tomé, D. & Bos, C.** 2009b. Hydrolyzed dietary casein as compared with the intact protein reduces postprandial peripheral, but not whole- body, uptake of nitrogen in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90: 1011–22.

- Edwards, C.A., Zavoshy, R., Khanna, S., Preston, T., Morrison, D.J., Slater, C. & Weaver, L.T.** 2002. Production of <sup>13</sup>C labelled pea flour for use in human digestion and fermentation studies. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 38: 139–48.
- Elango, R., Ball, R.O. & Pencharz, P.B.** 2009. Amino acid requirements in humans: With a special emphasis on the metabolic availability of amino acids. *Amino Acids*, 37: 19–27.
- Elango, R., Ball, R.O. & Pencharz, P.B.** 2012a. Recent advances in determining protein and amino acid requirements in humans. *British Journal of Nutrition*, 108: S22–30.
- Elango, R., Chapman, K., Rafii, M., Ball, R.O. & Pencharz, P.B.** 2012b. Determination of the tolerable upper intake level of leucine in acute dietary studies in young men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 96: 759–67.
- Elango, R., Levesque, C., Ball, R.O. & Pencharz, P.B.** 2012c. Available versus digestible amino acids - new stable isotope methods. *British Journal of Nutrition*, 108: S306–14.
- Evenepoel, P., Hiele, M., Geypens, B., Geboes, K.P., Rutgeerts, P. & Ghos Y.** 2000. <sup>13</sup>C-egg white breath test: a non-invasive test of pancreatic trypsin activity in the small intestine. *Gut*, 46: 52–7.
- FAO.** 1957. *Protein requirements: Report of the FAO Committee*. FAO Nutritional Series No. 16. Rome.
- FAO.** 1965. *Protein requirements: Report of a Joint FAO/WHO Expert Group*. FAO Nutrition Meeting Report Series No. 37. Rome.
- FAO.** 1973. *Energy and Protein requirements. Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee*. FAO Nutrition meetings Report Series, No. 52. Rome.
- FAO.** 1991. *Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation on Protein Quality Evaluation*. FAO Food and Nutrition Paper 51. Rome.
- FAO.** 2012a. *Assessing a data set on true ileal amino acid digestibility of foods for humans, including assessing its suitability for practical application in the calculation of DIAAS values and the implications of these data for the final Consultation report*. Report of a Sub-committee of the 2011 FAO Consultation on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition (prepared by Uauy, R., Millward, J., Pencharz, P., Fuller, M. & Burlingame, B.). Unpublished report.  
<http://www.fao.org/ag/humannutrition/36217-48d1f61c937dfee3b42c03d2727a5f06.pdf>
- FAO.** 2012b. *The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods*.

- Report of a Sub-committee of the 2011 FAO Consultation on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition (prepared by Gilani, S., Tomé, D., Moughan, P. & Burlingame, B.). Unpublished report.  
<http://www.fao.org/ag/humannutrition/36216-4a2f02ec02eafd4f457dd2c9851b4c45.pdf>
- FAO.** 2013. *Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition.: Report of an FAO Expert Consultation.* FAO Food and Nutrition paper No. 92. Rome.
- Fernstrom, J.D.** 2012. Effects and side effects associated with the non-nutritional use of tryptophan by humans. *Journal of Nutrition*, Dec; 142: 2236S–2244S.
- Fernstrom, J.D.** 2013. Large neutral amino acids: dietary effects on brain neurochemistry and function. *Amino Acids*, Sep; 45: 419–30.
- Fernstrom, J.D., Langham, K.A., Marcelino, L.M., Irvine, Z.L., Fernstrom, M.H. & Kaye, W.H.** 2013. The ingestion of different dietary proteins by humans induces large changes in the plasma tryptophan ratio, a predictor of brain tryptophan uptake and serotonin synthesis. *Clinical Nutrition*, Dec; 32: 1073–6.
- Fernstrom, M.H. & Fernstrom, J.D.** 1995. Brain tryptophan concentrations and serotonin synthesis remain responsive to food consumption after the ingestion of sequential meals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61: 312–9.
- Food and Nutrition Bulletin (FNB).** 2013. Protein Quality Workshop: Importance of Protein Quality in Prevention and Treatment of Child Malnutrition. (Guest editors: D.Suri, S.Marcus, S.Ghosh, A.Kurpad & I.Rosenberg. *Food and Nutrition Bulletin*. 34: 2, 223–283.
- Fouillet, H., Bos, C., Gaudichon, C. & Tome, D.** 2002a. Approaches to quantifying protein metabolism in response to nutrient ingestion. *Journal of Nutrition*, 132: 3208S–18S.
- Fouillet, H., Gaudichon, C., Bos, C., Mariotti, F. & Tomé D.** 2003. Contribution of plasma proteins to splanchnic and total anabolic utilization of dietary nitrogen in humans. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 285: E88–97.
- Fouillet, H., Gaudichon, C., Mariotti, F., Bos, C., Huneau, J.F. & Tomé, D.** 2001. Energy nutrients modulate the splanchnic sequestration of dietary nitrogen in humans: a compartmental analysis. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 281 (2): E248–E260.
- Fouillet, H., Gaudichon, C., Mariotti, F., Mahé, S., Lescoat, P., Huneau, J.F. & Tomé, D.** 2000. Compartmental modeling of postprandial dietary nitrogen distribution in

- humans. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 279: E161–75.
- Fouillet, H., Juillet, B., Gaudichon, C., Mariotti, F., Tomé, D. & Bos, C.** 2009. Absorption kinetics are a key factor regulating postprandial protein metabolism in response to qualitative and quantitative variations in protein intake. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 297: R1691–705.
- Fouillet, H., Mariotti, F., Gaudichon, C., Bos, C. & Tomé, D.** 2002b. Peripheral and Splanchnic Metabolism of Dietary Nitrogen are Differently Affected by the Protein Source in Humans. *Journal of Nutrition*, 132: 125–33.
- Fromentin, C., Sanders, P., Nau, F., Anton, M., Fromentin, G., Tomé, D., Thibault, J.N. & Gaudichon, C.** 2012. A pilot study for the intrinsic labeling of egg proteins with <sup>15</sup>N and <sup>13</sup>C. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26: 43–8.
- Fuller, M.F. & Tomé, D.** 2005. In vivo determination of amino acid bioavailability in humans and model animals. *Journal of AOAC International*, 88: 923–34. Review.
- Gaudichon, C., Bos, C., Morens, C., Petzke, K.J., Mariotti, F., Everwand, J., Benamouzig, R., Daré, S., Tomé, D. & Metges, C.C.** 2002. Ileal losses of nitrogen and amino acids in humans and their importance to the assessment of amino acid requirements. *Gastroenterology*, 123: 50–9.
- Gaudichon, C., Mahé, S., Roos, N., Benamouzig, R., Luengo, C., Huneau, J.F., Sick, H., Bouley, C., Rautureau, J. & Tome, D.** 1995. Exogenous and endogenous nitrogen flow rates and level of protein hydrolysis in the human jejunum after [<sup>15</sup>N] milk and [<sup>15</sup>N]yoghurt ingestion. *British Journal of Nutrition*, 74: 251–60.
- Gausserès, N., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Ferriere, F., Rautureau, J. & Tomé D.** 1997. [<sup>15</sup>N]-labeled pea flour protein nitrogen exhibits good ileal digestibility and postprandial retention in humans. *Journal of Nutrition*, 127(6): 1160–65.
- Ghosh, S., Suri, D. & Uauy, R.** 2012. Assessment of protein adequacy in developing countries: quality matters. *British Journal of Nutrition*, 108 (suppl 2): S77–87.
- Gibson, N.R., Fereday, A., Cox, M., Halliday, D., Pacy, P.J. & Millward, D.J.** 1996. Influences of dietary energy and protein on leucine kinetics during feeding in healthy adults. *American Journal of Physiology*, 33: 282–91.
- Heine, W.E.** 1999. The significance of tryptophan in infant nutrition. In: *Tryptophan, serotonin and melatonin: basic aspects and applications* (Huether, G., Kochen, W., Simat, J., Steinhard, H., eds.) pp. 705-10. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers.

- Heine, W., Radke, M., Wutzke, K.D., Peters, E., Kundt, G.** 1996. Alpha-lactalbumin-enriched low-protein infant formulas: a comparison to breast milk feeding. *Acta Paediatrica*, 85: 1024–1028.
- Hoddinott, J., Maluccio, J., Behrman, J.R., Flores, R. & Martorell, R.** 2008. The impact of nutrition during early childhood on income, hours worked, and wages of Guatemalan adults. *The Lancet*, 371 (February): 411–6.
- Humayun, M.A., Elango, R., Moehn, S., Ball, R.O. & Pencharz, P.B.** 2007. Application of the indicator amino acid oxidation technique for the determination of metabolic availability of sulfur amino acids from casein versus soy protein isolate in adult men. *Journal of Nutrition*, 137: 1874–9.
- Jackson, J., Kuhlman, C. & Lönnerdal, B.** 2002. Variations in concentrations of alpha lactalbumin (A Lac) in human milk: a nine-country survey. *The FASEB Journal*, 16: A663 (abstr).
- Juillet, B., Fouillet, H., Bos, C., Mariotti, F., Gausserès, N., Benamouzig, R., Tomé, D. & Gaudichon, C.** 2008. Increasing habitual protein intake results in reduced postprandial efficiency of peripheral, anabolic wheat protein nitrogen use in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 87: 666–678.
- Juillet, B., Saccomani, M.P., Bos, C., Gaudichon, C., Tomé, D. & Fouillet, H.** 2006. Conceptual, methodological and computational issues concerning the compartmental modeling of a complex biological system: Postprandial inter-organ metabolism of dietary nitrogen in humans. *Mathematical Biosciences*, Dec; 204: 282–309.
- Lacroix, M., Bon, C., Bos, C., Léonil, J., Benamouzig, R., Luengo, C., Fauquant, J., Tomé, D. & Gaudichon, C.** 2008. Ultra high temperature treatment, but not pasteurization, affects the postprandial kinetics of milk proteins in humans. *Journal of Nutrition*, 138: 2342–7.
- Lacroix, M., Bos, C., Léonil, J., Airinei, G., Luengo, C., Daré, S., Benamouzig, R., Fouillet, H., Fauquant, J., Tomé, D. & Gaudichon C.** 2006. Compared with casein or total milk protein, digestion of milk soluble proteins is too rapid to sustain the anabolic postprandial amino acid requirement. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84: 1070–9.
- Levesque, C.L., Moehn, S., Pencharz, P.B. & Ball, R.O.** 2010. Review of advances in metabolic bioavailability of amino acids. *Livestock Science*, 133: 4–9.
- Levesque, C.L., Moehn, S., Pencharz, P.B. & Ball, R.O.** 2011. The metabolic availability of threonine in common feedstuffs fed to adult sows is higher than published ileal digestibility estimates. *Journal of Nutrition*, 141: 406–10.

- Lien, E.** 2003. Infant formulas with increased concentrations of alpha-lactalbumin. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77 (suppl) 1555S–8S
- Lien, E., Davis, A. & multi-center study group.** 2002. A multicenter study of the growth, acceptability and protein status of a lower protein term infant formula with increased bovine alpha-lactalbumin. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 34: A479 (abstr).
- Littell, R.C., Henry, P.R., Lewis, A. J. & Ammerman, C.B.** 1997. Estimation of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 75: 2672–83.
- Littell, R.C., Lewis A.J. & Henry, P.R.** 1995. Statistical evaluation of bioavailability assays. In: *Bioavailability of Nutrients for Animals – Amino Acids, Minerals, and Vitamins* (Ammerman, C.B., Baker, D.H. & Lewis, A.J.), pp 5-33. San Diego, CA, Academic Press Inc.
- MacDonald, A.J., Small, A.C., Greig, C.A., Husi, H., Ross, J.A., Stephens, N.A., Fearon, K.C.H. & Preston, T.** 2013. A novel oral tracer procedure for measurement of habitual myofibrillar protein synthesis, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 27: 1769–77.
- Mahé, S., Fauquant, J. & Gaudichon, C.** 1994a. <sup>15</sup>N-labeling and preparation of milk, casein and whey proteins. *Le Lait*, 74: 307–12.
- Mahé, S., Roos, N., Benamouzig, R., Sick, H., Baglieri, A., Huneau, J.F. & Tomé, D.** 1994b. True exogenous and endogenous nitrogen fractions in the human jejunum after ingestion of small amounts of <sup>15</sup>N-labeled casein. *Journal of Nutrition*, 124: 548–55.
- Mariotti, F., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Daré, S., Gaudichon, C. & Tomé, D.** 1999. Nutritional value of [<sup>15</sup>N]-soy protein isolate assessed from ileal digestibility and postprandial protein utilization in humans. *Journal of Nutrition*, 129: 1992-7.
- Mariotti, F., Mahé, S., Luengo, C., Benamouzig, R. & Tomé D.** 2000. Postprandial modulation of dietary and whole-body nitrogen utilization by carbohydrates in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72: 954–62.
- Mariotti, F., Pueyo, M.E., Tomé, D. & Mahé, S.** 2002. The bioavailability and postprandial utilisation of sweet lupin (*Lupinus albus*)-flour protein is similar to that of purified soyabean protein in human subjects: a study using intrinsically <sup>15</sup>N-labelled proteins. *British Journal of Nutrition*, 87(4): 315–323.
- Markus, C.R., Olivier, B. & De Haen, E.H.** 2002. Whey protein rich in alpha-lactalbumin increases the ration of plasma tryptophan to the sum of the other large neutral

amino acids and improves cognitive performance in stress-vulnerable subjects. *American Journal of Clinical Nutrition* 75: 1051–6.

**Markus, C.R., Olivier, B. & Panhuysen, G.E.** 2000. The bovine protein  $\beta$ -lactalbumin increases the plasma ratio of tryptophan to the other large neutral amino acids, and in vulnerable subjects raises brain serotonin activity, reduces cortisol concentration, and improves mood under stress. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71: 1536–44.

**Millward, D.J.** 1998. Metabolic Demands for Amino Acids and the Human Dietary Requirement: Millward and Rivers (1988) Revisited. *Journal of Nutrition*, 128: 2563S–76S.

**Millward, D.J.** 2003. Horizons in Nutritional Sciences: An adaptive metabolic demand model for protein and amino acid requirements. *British Journal of Nutrition*, 90: 249–60.

**Millward, D.J.** 2012. Identifying recommended dietary allowances for protein and amino acids: a critique of the 2007 WHO/FAO/UNU report. *British Journal of Nutrition*, 108: S3–S21.

**Millward, D.J., Fereday, A., Gibson, N.R., Cox, M.C. & Pacy P.J.** 2002. Efficiency of utilization and apparent requirements for wheat protein and lysine determined by a single meal [ $^{13}\text{C}$ -1] leucine balance comparison with milk protein in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76: 1326–34.

**Millward, D.J., Fereday, A., Gibson, N.R. & Pacy P.J.** 2000. Human adult protein and amino acid requirements: [ $^{13}\text{C}$ -1] leucine balance evaluation of the efficiency of utilization and apparent requirements for wheat protein and lysine compared with milk protein in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72: 112–21.

**Millward, D.J. & Jackson, A.A.** 2004. Protein/energy ratios of current diets in developed and developing countries compared with a safe protein/energy ratio: implications for recommended protein and amino acid intakes. *Public Health Nutrition*, 7: 387–405.

**Millward, D.J. & Pacy, P.J.** 1995. Postprandial protein utilisation and protein quality assessment in man. *Clinical Science*, 88: 597–606

**Moehn, S., Bertolo, R.F.P. & Martinazzo-Dallagnol, E.** 2007. Metabolic availability of lysine in feedstuffs determined using oral isotope delivery. *Livestock Science*, 109: 24–6.

**Moehn, S., Bertolo, R.F.P. & Pencharz, P.B.** 2005. Development of the indicator amino acid oxidation technique to determine the availability of amino acids from dietary protein in pigs. *Journal of Nutrition*, 135: 2866–70.

- Moehn, S., Shoveller, A.K., Rademacher, M. & Ball, R.O.** 2008. An estimate of the methionine requirement and its population variability in growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal of Animal Science*, 86: 364–9.
- Morens, C., Bos, C., Pueyo, M.E., Benamouzig, R., Gausserès, N., Luengo, C., Tomé, D., Gaudichon, C.** 2003. Increasing habitual protein intake accentuates differences in postprandial dietary nitrogen utilization between protein sources in humans. *Journal of Nutrition*, Sep;133: 2733–40.
- Moughan, P.J., Butts, C.A. & van Wijk, H.** 2008. An acute ileal amino acid digestibility assay is a valid procedure for use in human ileostomates. *Journal of Nutrition*, 135: 404–9.
- National Research Council.** 1995. *Nutrient requirements of Laboratory Animals: Fourth Revised Edition*. Washington, DC, The National Academies Press.
- National Research Council.** 1998. *Nutrient requirements of Swine: Tenth Revised Edition*. Washington, DC, The National Academies Press.
- National Research Council.** 2012. *Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition*. Washington, DC, The National Academies Press.
- Parker, R.S., Swanson, J.E., Marmor, B., Goodman, K.J., Spielmand, A.B., Brenna, J.T., Viereck, S.M. & Cranfield, W.K.** 1993. Study of  $\beta$ -carotene metabolism in humans using  $^{13}\text{C}$ - $\beta$ -carotene and high precision isotope ratio mass spectrometry. *Annals of New York Academy of Sciences*, 691: 86–95.
- Pencharz, P.B. & Ball, R.O.** 2003. Different approaches to define individual amino acid requirements. *Annual Review of Nutrition*, 23: 101–16.
- Picou, D. & Taylor-Roberts, T.** 1969. The measurement of total protein synthesis and catabolism and nitrogen turnover in infants in different nutritional states and receiving different amounts of dietary protein, *Clinical Science*, 36: 283–96.
- Priebe, M.G., Wachters-Hagedoorn, R.E., Heimweg, J.A.J., Small, A.C., Preston, T., Elzinga, H., Stellaard, F. & Vonk, R.J.** 2008. An explorative study of in vivo digestive starch characteristics and postprandial glucose kinetics of wholemeal wheat bread. *European Journal of Nutrition*, 47: 417–23.
- Prolla, I.R., Rafii, M., Courtney-Martin, G., Elango, R., da Silva, L.P., Ball, R.O. & Pencharz, P.B.** 2013. Lysine from cooked white rice consumed by healthy young men is highly metabolically available when assessed using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal of Nutrition*, 143: 302–06.

- Rowan, A.M., Moughan, P.J. & Wilson, M.N.** 1994. Comparison of the ileal and faecal digestibility of dietary amino acids in adult humans and evaluation of the pig as a model animal for digestion studies in man. *British Journal of Nutrition*, 71: 29–42.
- Rutherford, S.M. & Gilani, G.S.** 2009. Amino acid analysis. *Current Protocols in Protein Science*, 58: 11.9.1–11.9.37.
- Sharp, T., Bramwell, S.R. & Grahame-Smith, D.G.** 1992. Effect of acute administration of L-tryptophan on the release of 5-HT in rat hippocampus in relation to serotonergic neuronal activity: an in vivo microdialysis study. *Life Science*, 50:1215–23.
- Stack, T., Reeds, P.J., Preston, T., Hay, S., Lloyd, D.J. & Aggett, P.J.** 1989. 15N tracer studies of Protein metabolism in low birth weight preterm infants - A comparison of 15N-glycine and 15N yeast protein hydrolysate and of human milk-fed and formula-fed babies, *Pediatric Research*, 25: 167–72.
- Steinberg, L.A., O'Connell, N.C. & Hatch, T.F.** 1992. Tryptophan intake influences infants' sleep latency. *Journal of Nutrition*, 122: 1781–91.
- Tang, G., Qin, J., Dolnikowsji, G.G., Russell, R.M. & Grusak, M.A.** 2005. Spinach or carrots can supply significant amounts of vitamin A as assessed by feeding with intrinsically deuterated vegetables. *American Journal of Clinical Nutrition*, 82: 821–8.
- Timby, N., Domellöf, E., Hernell, B., Lönnerdal, B. & Domellöf, M.** 2014. Neurodevelopment, nutrition and growth until 12 mo of age in infants fed a low-energy, low-protein formula supplemented with bovine milk fat globule membranes: a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99: 860–8.
- Tomé, D. & Bos, C.** 2000. Dietary protein and nitrogen utilization. *Journal of Nutrition*, 130: v1868S–73S. Review.
- Uauy, R.** 2013. Improving linear growth without excess body fat gain in women and children. *Food and Nutrition Bulletin*, 34: 259–62.
- Verbeke, K., Ferchaud-Roucher, V., Preston, T., Small, A.C., Henckaerts, L., Krempf, M., Wang H., Vonk, R.J. & Priebe, M.G.** 2010. Influence of the type of indigestible carbohydrate on plasma and urine short chain fatty acid profiles in healthy human volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64: 678–84.
- WHO.** 1985. *Energy and Protein Requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation*. WHO Technical Report Series 724, Geneva.

**WHO.** 2007. *Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation.* WHO Technical Report Series, No. 935. Geneva.

**Yogman, M.W., Zeisel, S.H. & Roberts, C.** 1982. Assessing effects of serotonin precursors on newborn behavior. *Journal of Psychiatric Research*, 17: 123–33.

**Zello, G.A., Pencharz, P.B., Ball, R.O.** 1993. Dietary lysine requirement of young adult males determined by oxidation of L-[1-13C] phenylalanine. *American Journal of Physiology*, 264: E677–E685.

## **Informe del Sub-Comité de la Consulta FAO 2011 sobre “Evaluación de la Calidad de las Proteínas en Nutrición Humana” sobre:**

### **Valoración de la digestibilidad de los aminoácidos en alimentos para humanos e inclusión de una colección de datos publicados sobre su digestibilidad ileal**

#### ***Miembros del Sub-Comité<sup>1</sup> :***

*Sarwar Gilani (Presidente), Daniel Tomé, Paul Moughan y  
Barbara Burlingame (de oficio)*

<sup>1</sup> El Doctor Shane Rutherford, del Riddet Institute, Massey University, Nueva Zelanda, asistió y colaboró especialmente con la colección de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y fue incluido como coautor del informe del Sub-Comité.

NOTA: los temas expresados en este informe son los del Sub-Comité y no reflejan necesariamente las opiniones (o un consenso) de los miembros de la Consulta de Expertos. El informe es una parte integral del proceso, con el fin de conseguir un consenso global, expresado en el informe final de la Consulta de Expertos FAO 2011.

Primera versión escrita en agosto de 2011. Una versión revisada (como se presenta aquí en la página web) fue escrita y enviada al Sub-Comité presidido por R Uauy en febrero de 2012. La declaración consensuada del Sub-Comité presidido por el Dr Uauy de abril de 2012 (referencia [www.fao.org](http://www.fao.org)) se refiere al informe actual revisado.

Este documento fue publicado originalmente en 2012 por la FAO con el título *“The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods.”* La traducción al español se ha realizado por la FINUT. En caso de eventuales discrepancias el texto en inglés prevalecerá sobre el español.



# Agradecimientos

---

Los autores agradecen profundamente la provisión generosa de datos por AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Avenis Animal Nutrition, INRA, ITCF; la CVB y Evonik Degussa GmbH. También agradecemos de forma especial los valiosos comentarios del Dr Machiel Blok y Mrs Jettie Kruisdijg.



---

# Tabla de contenidos

---

Agradecimientos	iii
COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD ILEAL VERDADERA DE AMINOÁCIDOS PARA SU APLICACIÓN AL CÁLCULO DE LOS DIAAS (puntuación de aminoácidos indispensables digestibles) EN NUTRICIÓN HUMANA	1
INTRODUCCIÓN	1
1) Bases para determinar la digestibilidad de los aminoácidos a nivel del íleon terminal	2
2) Digestibilidad fecal e ileal del nitrógeno y de los aminoácidos en cerdos	4
3) Digestibilidad ileal de proteínas y aminoácidos en humanos adultos	7
4) Consideraciones generales	9
REFERENCIAS	17
APÉNDICE 1: DIGESTIBILIDAD ILEAL VERDADERA DE AMINOÁCIDOS Y PROTEÍNAS (%) DE ALIMENTOS PARA HUMANOS SELECCIONADOS	23
INTRODUCCIÓN	23
REFERENCIAS	53

---

## Lista de tablas

---

TABLA 1	10
Comparación de la digestibilidad ileal y fecal de la proteína de la dieta en pollos domésticos (camperos) y varios animales monogástricos	
TABLA 2.	10
Digestibilidad fecal de la proteína cruda y de los aminoácidos (%) para alimentos seleccionados determinados en ratas en crecimiento	
TABLA 3	11
Digestibilidad ileal y fecal aparentes (%) de los aminoácidos de la dieta en cerdos en crecimiento	
TABLA 4	12
Promedio de digestibilidad aparente de la proteína cruda (%) determinada en la digesta ileal o en las heces de ratas en crecimiento (Moughan et al., 1984)	
TABLA 5	12
Cantidades de lisina hidrolizada en medio ácido, FDNB lisina, lisina reactiva y lisina reactiva absorbida en una mezcla de caseína-glucosa calentada	
TABLA 6	12
Promedio de los coeficientes de digestibilidad ileal y fecal aparentes de los aminoácidos en adultos ileostomizados y sanos (65 kg de peso) que recibieron una dieta basada en carne, verduras y cereales, y una dieta basada en productos lácteos, respectivamente (Rowan et al., 1994)	
TABLA 7	13
Digestibilidad ileal del nitrógeno determinada en humanos	
TABLA 8	13
Digestibilidad ileal aparente y verdadera de los aminoácidos para comidas mixtas basadas en caseína intacta o hidrolizada en humanos adultos (valores medios y desviaciones estándar para datos globales) (Deglaire et al., 2009)	
TABLA 9	14
Digestibilidad ileal verdadera (%) del nitrógeno y de los aminoácidos de la dieta para proteínas de leche o soja en voluntarios humanos sanos (Gaudichon et al., 2002)	
TABLA DE APÉNDICE 1	25
Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y proteínas (expresada en %) de alimentos seleccionados para humanos	

---

## Lista de figuras

---

- FIGURA 1. **15**  
Digestibilidad ileal verdadera máxima de los aminoácidos, digestibilidad ileal verdadera mínima de los aminoácidos y digestibilidad ileal verdadera del nitrógeno
- FIGURA 2. **16**  
Efecto del contenido en proteínas de la dieta sobre el promedio de valores de la digestibilidad ileal aparente y verdadera del nitrógeno en ratas alimentadas con una dieta basada en carne y huesos (Donkoh y Moughan, 1994)
- FIGURA 3. **16**  
Nitrógeno exógeno recuperado en el íleon y en las heces tras la ingestión de leche [<sup>15</sup>N] en adultos sanos tras un ayuno nocturno. Cada valor representa la media de 5 individuos (Bos et al., 1999)



# Coeficientes de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos para su aplicación al cálculo de los DIAAS (puntuación de aminoácidos indispensables digestibles) en nutrición humana

---

Paul J Moughan<sup>1</sup>, Sarwar Gilani<sup>2</sup>, Shane M Rutherfurd<sup>1</sup> y Daniel Tomé<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Riddet Institute, Massey University, Private Bag 11-222, Palmerston North 4442, Nueva Zelandad

<sup>2</sup>Nutrition Research Division, Health Canada, Ottawa, Ontario, Canadá K1A 0K9

<sup>3</sup>AgroParisTech, INRA, UMR14 Nutrition Physiology and Ingestive Behavior, F-75005 Paris, Francia

(informe revisado, febrero, 2012)

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se ha asumido que la digestibilidad de la proteína cruda predice de forma exacta la digestibilidad de los aminoácidos y se usa en el cálculo de los PDCAAS (puntuación de los aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína) en nutrición humana. La digestibilidad de la proteína cruda en los alimentos se ha determinado generalmente sobre la base de la digestibilidad del nitrógeno fecal (es decir, sobre el total del tracto digestivo) tanto en individuos humanos como en modelos animales (sobre todo ratas y cerdos en crecimiento).

Durante la Consulta de Expertos sobre la “Evaluación de la Calidad de las Proteínas en Nutrición Humana” organizada por la FAO en Auckland, Nueva Zelanda, 31 de marzo- 2 de abril de 2011, se volvieron a retomar los argumentos de que, por seguridad, la digestibilidad de proteínas y aminoácidos en humanos debería determinarse en el íleon terminal, como medida de la desaparición de aminoácidos entre la boca y el final del intestino delgado. La Consulta de Expertos recomendó específicamente:

1. Que las proteínas deberían ser descritas en primer lugar sobre la base de su contenido en aminoácidos digestibles, siendo tratado cada aminoácido como un nutriente individual;
2. Que los PDCAAS fueran reemplazados por una puntuación nueva, DIAAS (puntuación de aminoácidos indispensables digestibles) en la que  $DIAAS = 100 \times [(mg \text{ del aminoácido indispensable digestible en } 1 \text{ g de la proteína de la dieta}) / (mg \text{ del mismo aminoácido indispensable en } 1 \text{ g de la proteína de referencia})]$ ;
3. En ambos casos, las cantidades de los aminoácidos indispensables digestibles deberían determinarse basándose en la composición en aminoácidos y en los coeficientes de

digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos, siendo determinados estos coeficientes directamente en humanos, cerdos en crecimiento o ratas en crecimiento, en este orden de preferencia.

Aunque el significado fisiológico de la medida de la digestibilidad ileal de los aminoácidos fue reconocida por la Consulta, e inclusive, por consultas anteriores (FAO/WHO, 1991; WHO/FAO/WHO, 2007), había algunas dudas prácticas en relación a la disponibilidad general de los datos apropiados de digestibilidad ileal de proteínas y aminoácidos en su aplicación a los humanos. En este contexto se formó un Grupo de Trabajo de la FAO formado por Sarwar Gilani (Presidente), Daniel Tomé, Paul Moughan y Barbara Burlingame (*de oficio*), con la intención de desarrollar una justificación para el uso en la práctica de los datos de digestibilidad ileal de proteínas y aminoácidos, incluyendo:

1. demostrar, basándose en datos experimentales, la naturaleza de las diferencias entre la digestibilidad de la proteína y la de los aminoácidos específicos;
2. demostrar, basándose en datos experimentales, la naturaleza de las diferencias entre la digestibilidad ileal y la fecal;
3. demostrar que en la actualidad existe una gran cantidad de datos disponibles sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos para permitir su introducción en la aplicación práctica.

Estos tres últimos objetivos forman la base de esta sinopsis.

## 1) BASES PARA DETERMINAR LA DIGESTIBILIDAD DE LOS AMINOÁCIDOS A NIVEL DEL ÍLEON TERMINAL

### *a. Digestibilidad fecal " versus " digestibilidad ileal – una perspectiva fisiológica*

En los animales monogástricos que poseen un intestino delgado bien desarrollado (incluyendo los humanos), una microbiota profusa y variada actúa sobre el material no digerido que entra en el intestino grueso, con un grado significativo de metabolismo de proteínas, péptidos y aminoácidos. El amoníaco, uno de los productos de la lisis bacteriana de proteínas y aminoácidos, es absorbido a partir del intestino delgado, pero no se considera que los aminoácidos, como tales, se absorban a partir del intestino grueso en cantidades nutricionalmente significativas (Wrong *et al.*, 1981; Moughan, 2003; Moughan y Stevens, 2012). La proteína fecal es fundamentalmente proteína bacteriana y no guarda relación en su composición con el perfil de los aminoácidos de la dieta que permanecen no digeridos al final del íleon. Teniendo en cuenta que las proteínas bacterianas no están relacionadas directamente con las proteínas de los alimentos y con los aminoácidos de los alimentos no digeridos, no parece lógico determinar la digestibilidad de los aminoácidos a nivel fecal. La estimación de la digestibilidad de los aminoácidos basada en el análisis de las heces no describe las cantidades de aminoácidos absorbidos. Por tanto, las medidas de digestibilidad determinadas a nivel ileal son críticas para determinar las pérdidas de aminoácidos tanto de origen alimenticio como de origen endógeno (Moughan, 2003; Fuller y Tomé, 2005). Las diferencias entre la digestibilidad ileal y fecal pueden ser sustanciales. Las diferencias entre

ambas formas de determinar la digestibilidad, tanto de los aminoácidos como de las proteínas, han sido observadas en una amplia variedad de especies de animales monogástricos (Tabla 1). No hay razones para creer que los humanos, con un colon bien desarrollado, puedan ser diferentes, aunque existe una evidencia experimental limitada que apoya esta hipótesis.

Conviene resaltar que los valores de la digestibilidad ileal de los aminoácidos no estiman de manera exacta la captación de aminoácidos y pueden ser incapaces de explicar el catabolismo microbiano y la síntesis de aminoácidos en el tracto digestivo superior. Fuller (2012) ha discutido hallazgos experimentales recientes sobre la síntesis de aminoácidos por las bacterias en el tracto gastrointestinal superior, en el que puede haber absorción de los aminoácidos sintetizados. Concluyó que, aunque existen todavía dudas sobre el impacto de la actividad microbiana en el tracto digestivo superior, la composición en aminoácidos de la digesta ileal proporciona la mejor base disponible para estimar la digestibilidad de los aminoácidos. La exactitud de los valores de la digestibilidad ileal de los aminoácidos ha sido demostrada también por varios estudios cuidadosamente controlados con animales monogástricos (véase más adelante).

#### *b. Proteína cruda “versus” digestibilidad de los aminoácidos*

Con el método PDCAAS se utiliza un único valor de la digestibilidad de la proteína cruda para ajustar las concentraciones dietéticas de los aminoácidos indispensables de la dieta. Se asume que la digestibilidad de la proteína cruda puede aplicarse a los aminoácidos indispensables individuales de la dieta y, por tanto, que las diferencias entre la digestibilidad de la proteína y la digestibilidad de los aminoácidos son menores; este no es el caso. Se pueden observar diferencias significativas entre la digestibilidad de la proteína y la de los aminoácidos específicos, y entre las digestibilidades de los propios aminoácidos. Tales diferencias se han destacado en los datos seleccionados obtenidos en estudios con ratas (que se muestran en la Tabla 2), los cuales se publicaron en el informe FAO/WHO de 1991 sobre la Consulta Conjunta de Expertos FAO/WHO sobre la Evaluación de la Calidad de las Proteínas celebrada en 1989, y fueron obtenidos del trabajo del laboratorio de Sarwar Gilani (Sarwar Gilani, 1987). La Figura 1 muestra los valores máximos y mínimos de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos determinados en cerdos junto con los valores de digestibilidad ileal verdadera de proteínas para una amplia variedad de alimentos. Claramente, existen diferencias significativas prácticas entre la digestibilidad de la proteína cruda y la de los aminoácidos específicos. La digestibilidad de los aminoácidos es la que debe utilizarse para estimar la calidad de las proteínas de la dieta siempre que sea posible.

#### *c. Aminoácidos endógenos presentes en la digesta ileal terminal*

Durante la digestión de los alimentos, una cantidad considerable de proteínas corporales (proteína endógena) es transportada al tracto digestivo, en contraposición a lo que sucede con las de origen dietético. Gran parte de este material es reciclado, mediante la digestión de las proteínas y la reabsorción de los aminoácidos. Sin embargo, grandes cantidades de proteínas, péptidos y aminoácidos endógenos permanecen sin ser absorbidos al final del intestino delgado. Estas proteínas, péptidos y aminoácidos, junto con las proteínas endógenas

originadas en el colon, son en gran parte catabolizadas por la microbiota colónica. Esto representa una pérdida de aminoácidos corporales indispensables. Si se determina la digestibilidad de los aminoácidos de la dieta a nivel del íleon terminal y teniendo en cuenta que la digesta ileal contiene grandes cantidades de proteínas endógenas, se hace necesario determinar el componente endógeno de aminoácidos. Si los coeficientes de digestibilidad de los aminoácidos no se corrigen con el contenido ileal de aminoácidos endógenos, los coeficientes de digestibilidad resultantes deben ser mencionados como coeficientes “aparentes”, mientras que si se hace la corrección, los coeficientes pueden identificarse como “verdaderos”. La digestibilidad verdadera constituye una propiedad fundamental de los alimentos y no se afecta por las condiciones dietéticas bajo las cuales se alimenta a la persona. La medida de digestibilidad aparente puede estar afectada por las condiciones del ensayo, por lo que es variable y está sujeta a error. Cuando la ingesta se refiere a materia seca de los alimentos, en los que el flujo ileal endógeno puede ser constante, el coeficiente de digestibilidad aparente de los aminoácidos aumenta marcadamente y de manera curvilínea desde el contenido bajo al contenido alto en aminoácidos. Esto es un artefacto del ensayo y refleja una influencia desproporcionada de la falta de corrección, para el flujo ileal de aminoácidos endógenos, cuando la ingesta de aminoácidos es la más baja. Este efecto se muestra claramente en los datos experimentales de Donkoh y Moughan (1994) (Figura 2) en los que se alimentó a ratas en crecimiento con dietas semi-sintéticas basadas en maíz y almidón y con cantidades diferentes de proteínas procedentes de carne y hueso, y en los que se recogió la digesta ileal de animales sacrificados por eutanasia. La digestibilidad ileal aparente del nitrógeno aumentó con el incremento del contenido en la proteína de la dieta, desde el 65 % al 75 %, mientras que la digestibilidad ileal verdadera del nitrógeno era del 77 %, con independencia del contenido en proteína de la dieta.

Claramente, la determinación del flujo ileal de aminoácidos necesita ser corregida con el flujo ileal de aminoácidos endógenos. Esta corrección se ha realizado tradicionalmente mediante la alimentación a humanos o animales (modelos para los humanos) con una dieta libre de proteínas, pero este método ha sido criticado por no ser fisiológico (Low, 1980). Se han desarrollado otros métodos más fisiológicos (por ejemplo, método de la proteína hidrolizada enzimáticamente y ultrafiltrada; proteína marcada con isótopos estables) (Moughan *et al.*, 1998; Bos *et al.*, 2002). La aplicación práctica de estos métodos para proporcionar estimaciones “verdaderas” o “estandarizadas” de la digestibilidad ileal de proteínas y aminoácidos ha sido objeto de revisión (Fouillet *et al.*, 2002; Fuller y Tomé, 2005; Columbus y de Lange, 2012; Muoghan y Rutherford, 2012.)

## 2) DIGESTIBILIDAD FECAL E ILEAL DEL NITRÓGENO Y DE LOS AMINOÁCIDOS EN CERDOS

Existen muchos datos comparativos sobre la digestibilidad íleo-fecal del nitrógeno y de los aminoácidos, procedentes de trabajos realizados con cerdos en crecimiento (Low, 1980), ya que este animal parece un modelo apropiado para los estudios sobre digestibilidad de nutrientes en humanos, particularmente para la determinación de la digestibilidad ileal del

nitrógeno (Pond y Houpt, 1978; Millar y Ullrey, 1987; Moughan y Rowan, 1989; Moughan et al., 1992; Moughan *et al.*, 1994; Deglaire *et al.*, 2009; Deglaire y Moughan, 2012).

*a. Comparación de la digestibilidad íleo-fecal del nitrógeno y de los aminoácidos en el cerdo*

Existe una concordancia general entre los estudios en que la digestibilidad ileal de la mayor parte de los aminoácidos es más baja que la determinada sobre el total del tracto digestivo (por ejemplo, véase la Tabla 3), pero este hallazgo no es universal. La cantidad de aminoácidos que desaparecen en el intestino grueso constituye habitualmente entre el 5 % y el 35 % de los aminoácidos ingeridos. Parece que cuanto más baja es la digestibilidad ileal global del nitrógeno o de los aminoácidos, mayor es la diferencia en la digestibilidad íleo-fecal (Tabla 3). Se puede entender que, cuando las dietas contienen proteínas de gran digestibilidad, la mayor parte de las proteínas son absorbidas antes de que la digesta entre en el intestino grueso; mientras que, cuando las fuentes proteicas son de baja calidad, hay más residuos para ser fermentados, lo que lleva consigo una desaparición proporcionalmente mayor de aminoácidos entre el íleon terminal y el recto.

El alcance de la sobreestimación o infraestimación de la digestibilidad fecal varía con el aminoácido, el tipo de proteína y la influencia de otros componentes de la dieta. Lenis (1983) revisó la literatura científica mundial en relación con este tema entre 1964 y 1982 para 35 alimentos. La sobreestimación media de la digestibilidad aparente de la treonina y el triptófano por el método fecal en comparación con el método ileal fue de 10 y 11 puntos porcentuales respectivamente. Las diferencias ileo-fecales tendían a ser menores para la lisina. El método fecal sobreestimó (con una media de 5.6 puntos porcentuales) la digestibilidad de la lisina para once alimentos y la infraestimó (con una media de 4.3 puntos porcentuales) en otros diez alimentos. Los valores fecales infravaloran frecuentemente de manera considerable la digestibilidad real (ileal) de la metionina, al contrario de lo que sucede con la cisteína. Hendriks *et al.*, (2012) han recogido valores de digestibilidad ileal y fecal del nitrógeno en cerdos en crecimiento procedentes de un gran número de estudios. Generalmente, los valores de digestibilidad fecal eran mucho más elevados que los de digestibilidad ileal, pero en unos cuantos casos sucedió lo contrario. Esta colección extensa de datos demuestra con claridad que al aumentar la digestibilidad ileal aparente del nitrógeno desde un 50 % al 95 %, las diferencias íleo-fecales disminuyen marcadamente.

Las evidencias publicadas sugieren que los valores de la digestibilidad ileal de los aminoácidos en el cerdo en crecimiento son cuantitativamente diferentes a los valores de digestibilidad fecal; y que los valores de digestibilidad ileal son superiores para su aplicación práctica. Por otra parte, se han publicado diferencias similares en la digestibilidad ileo-fecal de la proteína en ratas en crecimiento (Tabla 4).

*b. Evidencia experimental para la validación de los coeficientes de digestibilidad ileal de aminoácidos*

El efecto del metabolismo de la microbiota intestinal sobre los aminoácidos de la dieta no digeridos en la estimación de la digestibilidad fecal puede explicar las bajas correlaciones

estadísticas publicadas entre los resultados del crecimiento en cerdos y las estimaciones fecales de la captación de aminoácidos (Crampton y Bell, 1946; Lawrence, 1967; Cole et al., 1970). Mientras que los coeficientes de digestibilidad fecal de los aminoácidos han sido malos predictores del crecimiento animal, los valores de digestibilidad ileal han conseguido detectar de manera muy sensible pequeñas diferencias en la digestibilidad de las proteínas debido al procesado de los alimentos (van Weerden *et al.*, 1985; Sauer y Ozimek, 1986). Por otra parte, varios estudios han demostrado que los valores ileales describen de manera exacta la captación de aminoácidos a partir del lumen intestinal (Tanksley y Knabe, 1980; Low *et al.*, 1982; Just *et al.*, 1985; Moughan y Smith, 1985; Dierick *et al.*, 1988). Rutherford *et al.* (1977) emprendieron un estudio para evaluar la exactitud de los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera de la lisina en la predicción del almacenamiento corporal total de lisina en el cerdo. El estudio apoyó la exactitud de la digestibilidad ileal verdadera de la lisina como predictor de la captura de la lisina alimentaria a partir del tracto digestivo. Las evidencias experimentales que apoyan la validez de la aplicación de los coeficientes de digestibilidad ileal de los aminoácidos han sido revisadas recientemente por Columbus y de Lange (2012), quienes han concluido que “hay evidencia suficiente para sugerir que, en muchas ocasiones, las medidas de digestibilidad ileal de los aminoácidos proporcionan estimaciones razonables de la biodisponibilidad de los aminoácidos de los alimentos”.

### *c. Digestibilidad de la lisina procedente de alimentos procesados*

No era de esperar que el ensayo tradicional de la digestibilidad ileal indicara de manera exacta la absorción de todos los aminoácidos en el caso de alimentos que hubieran estado sujetos a procesamiento, con el daño posible a los aminoácidos (Moughan *et al.*, 1991). Un buen ejemplo es el caso de la lisina. Se conoce que durante el análisis de aminoácidos con grandes concentraciones de ácido clorhídrico, los compuestos iniciales producidos por la reacción de Maillard, revierten a la lisina. Sin embargo, tal reversión no ocurre en el canal alimentario durante la digestión gástrica. Consecuentemente, estimar la lisina alimentaria y la lisina de la digesta ileal será un error que conduce al sesgo de los coeficientes de digestibilidad ileal. Aunque, al menos para la lisina, las moléculas inalteradas estructuralmente pueden ser determinadas de manera exacta por procedimientos químicos (por ejemplo, el ensayo FDNB [Fluordinitrobenzeno] de lisina), hay evidencia (Hurrell y Carpenter, 1981) de que las moléculas inalteradas o disponibles químicamente pueden no ser absorbidas totalmente a partir de las proteínas dañadas. La absorción (medida a nivel del íleon terminal) de la lisina reactiva ha sido determinada en un estudio realizado en cerdos en crecimiento (Moughan *et al.*, 1996) (Tabla 5). Una mezcla de caseína y glucosa fue calentada para originar los productos iniciales de la reacción de Maillard, y se calcularon las cantidades de epsilon-*n*-desoxi-fructosil-lisina (lisina bloqueada) y la lisina regenerada tras la hidrólisis ácida en el material resultante midiendo los niveles de furosina. La cantidad de lisina inalterada o reactiva se determinó mediante la diferencia entre la lisina total (hidrólisis ácida) y la lisina regenerada. El método FDNB permitió la valoración exacta de la cantidad de la lisina reactiva químicamente, que había sido sobreestimada exageradamente por los métodos de análisis de aminoácidos convencionales (lisina hidrolizada en medio ácido), pero la lisina reactiva no se absorbió completamente. Por lo que se refiere a la lisina y en los alimentos que han sufrido alteraciones químicas sostenidas de sus proteínas, debe determinarse la lisina reactiva, en oposición a la lisina total

(determinada por métodos tradicionales de análisis de aminoácidos), tanto en el alimento como en la digesta ileal y sus valores deberían usarse para el cálculo de la digestibilidad (Moughan y Rutherford, 1996; Rutherford y Moughan, 2012). La digestibilidad ileal verdadera de la lisina reactiva proporciona una valoración exacta de la lisina disponible en los tejidos para su metabolismo.

### 3) DIGESTIBILIDAD ILEAL DE PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS EN HUMANOS ADULTOS

#### a. Flujo de nitrógeno a nivel del íleon terminal en humanos

El flujo total de nitrógeno a nivel del íleon terminal en el adulto humano varía entre 2 a 5 g/día, con pérdidas de nitrógeno endógeno y de la dieta entre 0.7 a 4 g/día y 0.3 a 1 g/día respectivamente. Las pérdidas de aminoácidos endógenos y de la dieta son de 0.6-1 g/día y 0.4-0.7 g/día respectivamente (Chacko y Cumming, 1988; Mahé *et al.*, 1992; Rowan *et al.*, 1993; Fuller *et al.*, 1994; Gausserès *et al.*, 1996; Mariotti *et al.*, 1999; Gaudichon *et al.*, 2002; Moughan *et al.*, 2005a). Estos resultados muestran que una parte significativa del flujo de nitrógeno en el íleon humano (entre 40 y 50 %) no es de origen proteico.

#### b. Digestibilidad ileal “versus” fecal del nitrógeno en humanos

Sammons (1961) determinó las proporciones diarias de la producción fecal de nitrógeno en humanos normales y de la producción de nitrógeno ileal en individuos ileostomizados a los que se le dio la misma dieta. La producción ileal fue de 2.7 g N/d mientras que la producción fecal fue de 1.8 g N/d, demostrando una pérdida considerable de nitrógeno en el intestino grueso humano, lo que sugiere que existen diferencias importantes cuantitativamente en la digestibilidad ileal y fecal del nitrógeno. Sandstrom *et al.* (1986) proporcionaron dietas basadas en carne y soja a individuos ileostomizados y obtuvieron coeficientes de digestibilidad ileal aparente para el nitrógeno total entre 80 y 85 %. En comparación, se han señalado coeficientes de digestibilidad fecal verdadera entre 90 y 98 % en humanos que recibieron dietas basadas en soja (Istfan *et al.*, 1983; Scrimshaw *et al.*, 1983; Wayler *et al.*, 1983; Young *et al.*, 1984). Evenepoel *et al.* (1998) alimentaron con proteína de huevo marcada con <sup>15</sup>N a individuos ileostomizados y obtuvieron valores de digestibilidad ileal verdadera para la proteína cruda en huevos cocidos y crudos de 90.0 y 51.3 % respectivamente. Su conclusión fue que el valor de digestibilidad ileal para los huevos cocidos era menor que el rango publicado de valores para la digestibilidad fecal (92-97%). Por el contrario, Gibson *et al.* (1976) publicaron coeficientes de digestibilidad solo un poco menores cuando se determinaron a nivel del íleon terminal en vez de a través del total del tracto digestivo en humanos que recibieron proteínas de digestibilidad elevada. Bos *et al.* (1999) midieron la digestibilidad ileal verdadera y fecal de la proteína utilizando proteína láctea marcada con <sup>15</sup>N. Encontraron que la cantidad de nitrógeno recuperado a nivel del íleon terminal alcanzaba un pico después de una hora y decrecía durante las siguientes siete horas, sin recuperarse cantidades significativas al final de las ocho horas; mientras que las cantidades recuperadas en las heces permanecían a nivel muy

bajo después de las 24 horas, con un pico a las 60 horas y un decrecimiento progresivo posterior (Figura 3). La digestibilidad ileal verdadera y fecal de la proteína láctea, de digestibilidad elevada, se calculó como 95.5 % y 96.6 % respectivamente, no existiendo diferencias significativas entre ellas.

Los resultados obtenidos en los estudios de digestibilidad en humanos, aunque el número de estos estudios es limitado, concuerdan en general con las observaciones en otros mamíferos monogástricos.

*c. Digestibilidad ileal “versus” fecal y valores de digestibilidad ileal de aminoácidos en humanos*

En el estudio de Rowan *et al.* (1994), cinco individuos con ileostomías establecidas y seis individuos normales recibieron una dieta continuada a base de carne, verduras, fruta, pan y productos lácteos durante siete días, recogiendo los contenidos de la ileostomía o de las heces respectivamente, tras los cuatro días del período experimental. Generalmente, los coeficientes de digestibilidad fecal aparente fueron superiores a los ileales, habiéndose encontrado diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para arginina, ácido aspártico, glicina, fenilalanina, prolina, serina, treonina y triptófano (Tabla 5). La digestibilidad fecal de la metionina fue significativamente más baja que la ileal. Algunas de las diferencias encontradas fueron importantes cuantitativamente (por ejemplo, para la metionina y el triptófano), particularmente cuando se compararon con los valores ileales publicados anteriormente tras su determinación en individuos ileostomizados. Estos pacientes desarrollarán una microbiota característica y completamente expansiva al final del íleon (Vince *et al.*, 1973).

Se concluyó que la utilización de los coeficientes de digestibilidad fecal de los aminoácidos puede ser errónea para la determinación de la captación de los aminoácidos de la dieta en humanos, siendo preferible la aplicación de los coeficientes de digestibilidad ileal.

En la tabla 7 se muestran los resultados de una serie de estudios en los que se determinó la digestibilidad ileal verdadera del nitrógeno en individuos sanos, usando proteínas marcadas con isótopos estables. Los valores de digestibilidad ileal verdadera variaron entre el 84 y el 95 %. La digestibilidad ileal verdadera y aparente en el caso de comidas mixtas a base de caseína intacta o hidrolizada fue determinada en adultos sanos y se encontraron diferencias entre los aminoácidos (Deglaire *et al.*, 2009), Tabla 8. También se determinó la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos para la proteína de la leche y de la soja en adultos sanos (Gaudichon *et al.*, 2002). La digestibilidad más baja correspondió a la treonina en el grupo de la soja (89.0 %), mientras que el más alto correspondió a la tirosina en el grupo de la leche (99.3 %), Tabla 9. Se encontró una digestibilidad significativamente más baja para treonina, valina, histidina, tirosina, alanina y prolina en el grupo de la proteína de soja en comparación con el grupo de proteína de leche. La digestibilidad del nitrógeno fue significativamente más baja en el grupo de la soja que en el grupo de la leche. Por el contrario, cuando se calculó la digestibilidad del nitrógeno total a partir de la digestibilidad de los aminoácidos individuales, esas diferencias no fueron significativas.

#### 4) CONSIDERACIONES GENERALES

##### *a. Hallazgos de la Consulta de Expertos FAO 2011*

Se recomienda el enfoque de la puntuación de los aminoácidos indispensables digestibles (DIAAS) para la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en humanos. En el cálculo de los DIAAS se utiliza un valor para la cantidad de aminoácidos indispensables digestibles. Con relación a la determinación del contenido en estos aminoácidos indispensables digestibles de la dieta, la Consulta FAO 2011 concluyó:

“Se recomienda que la valoración de la calidad de las proteínas debe basarse en los valores de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos individuales más que en la digestibilidad global (fecal). La digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos debería ser determinada preferiblemente en humanos. Cuando falten datos en humanos, se recomienda la utilización de la digestibilidad ileal de los aminoácidos determinada en cerdos en crecimiento; y si no se dispusiera de estos últimos datos, la determinada en ratas en crecimiento. Si no se dispone de datos de digestibilidad de aminoácidos, se asume que este tipo de digestibilidad es equivalente a la digestibilidad de la proteína cruda. En este caso, es preferible la utilización de los datos de digestibilidad ileal verdadera de la proteína cruda, pero si esto último no fuera posible, puede utilizarse la digestibilidad fecal de la proteína cruda”.

##### *b. Datos publicados sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos procedentes de alimentos para humanos*

Se ha comenzado a realizar una revisión de la literatura científica así como de algunas bases de datos sobre la digestibilidad ileal verdadera. En un apéndice anexo se refieren dichos datos a partir de trabajos con humanos adultos, cerdos en crecimiento y ratas en crecimiento. Una vez más, estos datos muestran un considerable grado de variación en la digestibilidad entre alimentos, así como entre los aminoácidos individuales y el nitrógeno total dentro de un mismo alimento, lo que subraya la necesidad de utilizar, hasta donde sea posible, datos sobre la digestibilidad de los aminoácidos individuales y de los alimentos específicos. Los datos sobre la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos que se presentan aquí han sido seleccionados a partir de un gran número de estudios diversos realizados durante un número importante de años y en los que se han utilizado diferentes metodologías. Aunque cada estudio ha sido valorado para asegurar que se han empleado los enfoques adecuados, existen variaciones inherentes a las diferencias entre las metodologías utilizadas. Además, en algunos casos solo se dispone de descripciones rudimentarias de las fuentes alimentarias. Por tanto, la base de datos presente debería considerarse provisional. Es necesario desarrollar estudios y acumular datos sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos determinados directamente en humanos. Adicionalmente, debería desarrollarse un método validado y estandarizado utilizando modelos animales (cerdo o rata en crecimiento). En la actualidad se podrían considerar aceptables varias metodologías utilizadas para la obtención de datos de digestibilidad ileal verdadera en cerdos o ratas, pero sería un avance considerable el desarrollo de una metodología acordada y estandarizada (ver Moughan y Rutherford, 2012). Dicho

ensayo debería aplicarse para formar una colección exhaustiva y estandarizada de tablas sobre la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos de los alimentos para humanos.

**TABLA 1.** Comparación de la digestibilidad ileal y fecal de la proteína de la dieta en pollos domésticos (camperos) y varios animales monogástricos

	Digestibilidad aparente (%)		Diferencia (fecal-ileal, unidades de %)
	Ileal	Fecal	
Lechones <sup>1</sup>	90	97	+7
Cerdos en crecimiento <sup>2</sup>	66	81	+22
Terneros pre-rumiantes <sup>3</sup>	88	94	+7
Pollos <sup>4</sup>	78	86	+10
Ratas en crecimiento <sup>5</sup>	69	78	+9
Ratas en crecimiento <sup>6</sup>	82	88	+6
Ratas en crecimiento <sup>7</sup>	81	77	+4
Ratas en crecimiento <sup>8</sup>	66	67	+1

<sup>1</sup> Lechones (6 kg de peso en vivo) alimentados con leche bovina (Moughan et al, 1990)

<sup>2</sup> Cerdos (45 kg de peso en vivo) alimentados con una dieta basada en carne y huesos (Moughan et al, 1984)

<sup>3</sup> Terneros alimentados con leche (45 kg de peso en vivo) (Moughan et al, 1989)

<sup>4</sup> Media global de digestibilidad de aminoácidos para 9 aminoácidos y 16 dietas proporcionadas a pollos adultos (Raharjo y Farell 1984) y basada en una colección de digestas o excretas ileales.

Ratas (8 g de peso) alimentada con una dieta basada en carne y hueso<sup>5</sup>, pescado<sup>6</sup>, guisantes de campo<sup>7</sup> o cebada<sup>8</sup> (Moughan et al, 1984)

**TABLA 2.** Digestibilidad fecal de la proteína cruda y de los aminoácidos (%) para alimentos seleccionados determinadas en ratas en crecimiento

	Proteína	Lys	Met	Cys	Thr	Trp
Harina de guisantes	88	92	77	84	87	82
Guisantes (en autoclave)	83	85	62	85	78	72
Alubias pintas (en autoclave)	79	78	45	56	72	70
Lentejas (en autoclave)	85	86	59	75	76	63
Habas (en autoclave)	86	85	59	75	76	63
Soja	90	87	82	82	84	89
Cacahuetes	90	90	85	89	89	94
Trigo	93	83	914	97	91	96

Lys=lisina, Met=metionina, Cys=cisteína, Thr=treonina, Trp=triptófano  
De Sarwar Gilani (1978)

**TABLA 3.** Digestibilidad ileal y fecal aparentes (%) de los aminoácidos de la dieta en cerdos en crecimiento

a) *Cerdos alimentados con una dieta equilibrada a base de cereales (Sauer y Just, 1979, n=30).*

	Íleon	Heces	Diferencia (fecal-ileal, unidades de %)
Arginina	88	92	+4
Histidina	85	92	+7
Isoleucina	81	87	+6
Leucina	83	89	+6
Lisina	85	87	+2
Metionina	85	85	0
Fenilalanina	82	89	+7
Treonina	73	85	+12
Triptófano	79	89	+10
Valina	79	87	+8
Promedio	82	88	+6

b) *Cerdos alimentados con harina de trigo y cascarilla de trigo con digestibilidad determinada en el íleon terminal (I) y en heces (F) (Sauer et al., 1997).*

Aminoácido	Harina de trigo		Cascarilla de trigo	
	I	F	I	F
Lisina	84	86	66	76
Histidina	91	94	79	88
Metionina	94	94	78	82
Isoleucina	94	95	73	75
Leucina	95	96	75	79

c) *Cerdos alimentados con harina de haba de soja cruda (Nutrisoy) y Nutrisoy en autoclave.<sup>1</sup>*

	Nutrisoy		Nutrisoy en autoclave	
	Ileal	Fecal	Ileal	Fecal
Proteína	37	77	77	90
Arginina	45	85	90	96
Histidina	44	85	83	95
Isoleucina	40	74	86	91
Leucina	37	75	86	92
Lisina	41	80	80	90
Metionina <sup>2</sup>	59	72	86	89
Cisteína	35	77	68	86
Fenilalanina	39	77	88	93
Tirosina	34	73	85	91
Treonina	36	72	73	89
Valina	38	74	84	91

<sup>1</sup>Resumido de Li et al., (1998); se ensayaron dos dietas basadas en almidón de maíz que contenían 200g/kg de dieta de Nutrisoy (harina de soja desgrasada que contiene inhibidores activos de la tripsina) o Nutrisoy en autoclave (con cantidades reducidas de los inhibidores de la tripsina).

<sup>2</sup>Digestibilidad tras la corrección por la suplementación dietética con metionina.

**TABLA 4.** Promedio de digestibilidad aparente de la proteína cruda (%) determinada en la digesta ileal o en las heces de ratas en crecimiento (Moughan *et al.*, 1984)

	Cebada	Carne y hueso	Pescado	Guisantes de campo
Ileal	66	69	82	81
Fecal	67	78	88	77
Diferencia (fecal-ileal, unidades en %)	+1	+9	+6	-4

**TABLA 5.** Cantidades de lisina hidrolizada en medio ácido, FDNB lisina, lisina reactiva y lisina reactiva absorbida en una mezcla de caseína-glucosa calentada

	Hidrolizado en medio ácido <sup>1</sup>	FDNB <sup>2</sup>	Reactiva <sup>3</sup>	Reactiva absorbida <sup>4</sup>
Lisina (g 100 g <sup>-1</sup> )	2.60	1.91	1.98	1.40

<sup>1</sup>Tras un análisis convencional de aminoácidos

<sup>2</sup>FDNB = Fluordinitrobenzeno

<sup>3</sup>Unidades de lisina que permanecen químicamente reactivas tras calentar, determinadas a partir de los niveles de furosina

<sup>4</sup>Lisina reactiva absorbida por el final del intestino delgado De Moughan *et al.* (1996).

**TABLA 6:** Promedio de los coeficientes de digestibilidad ileal y fecal aparentes de los aminoácidos en adultos ileostomizados y sanos (65 kg de peso) que recibieron una dieta basada en carne, verduras y cereales, y una dieta basada en productos lácteos respectivamente (Rowan *et al.*, 1994)

Aminoácido	Coeficiente de digestibilidad <sup>1</sup>		Significancia estadística	Diferencia (fecal-ileal, unidades de %)
	Ileal (n 5)	Fecal (n 6)		
Arginina	90	93	*	+3
Aspartato	87	90	*	+3
Serina	87	92	***	+5
Treonina	85	89	**	+4
Prolina	90	95	**	+5
Glicina	72	87	***	+15
Fenilalanina	90	91	***	+1
Metionina	93	83	*	+6

<sup>1</sup>Aminoácidos para los que se encontraron diferencias ileo-fecales significativas (P<0.05)

\*significancia al nivel <0.05, \*\*significancia al nivel 0.01, \*\*\*significancia al nivel de 0.001.

**TABLA 7:** Digestibilidad ileal del nitrógeno determinada en humanos

Proteína	Digestibilidad Ileal (%)		Referencia
	Aparente	Verdadera	
Proteína de la leche	91	95	Mahé <i>et al.</i> , 1994 ; Bos <i>et al.</i> , 2003; Gaudichon <i>et al.</i> , 2002
Leche fermentada	90	-	Mahé <i>et al.</i> , 1994
Caseína	-	94.1	Deglaire <i>et al.</i> , 2009
Proteína de soja	-	91.5	Bos <i>et al.</i> , 2003; Gaudichon <i>et al.</i> , 2002
Proteína de guisantes	-	91.5	Gausserès <i>et al.</i> , 1997
	-	89.4	Gausserès <i>et al.</i> , 1996
	-	90.0	Mariotti <i>et al.</i> , 2001
Trigo	-	91.5	Bos <i>et al.</i> , 2005
	-	85.0	Juillet <i>et al.</i> , 2008
Proteína de altramuces	-	90.0	Mariotti <i>et al.</i> , 2002
Proteína de colza	-	84.0	Bos <i>et al.</i> , 2007

**TABLA 8:** Digestibilidad ileal aparente y verdadera de los aminoácidos para comidas mixtas basadas en caseína intacta o hidrolizada en humanos adultos (valores medios y desviaciones estándar para datos globales) (Deglaire *et al.*, 2009)

	Caseína intacta		Caseína hidrolizada	
	Aparente	Verdadera	Aparente	Verdadera
<b>Aminoácidos indispensables</b>				
Histidina	0.808	0.947	0.691	0.929
Isoleucina	0.838	0.941	0.811	0.929
Leucina	0.900	0.972	0.883	0.970
Lisina	0.918	0.974	0.906	0.976
Fenilalanina	0.889	0.963	0.869	0.966
Treonina	0.757	0.933	0.708	0.925
Tirosina	0.887	0.972	0.860	0.971
Valina	0.846	0.937	0.810	0.924
<b>Aminoácidos no indispensables</b>				
Alanina	0.842	0.951	0.789	0.936
Ácido aspártico	0.759	0.916	0.701	0.896
Ácido glutámico	0.897	0.940	0.886	0.914
Prolina	0.910	0.962	0.891	0.954
Serina	0.729	0.870	0.666	0.826

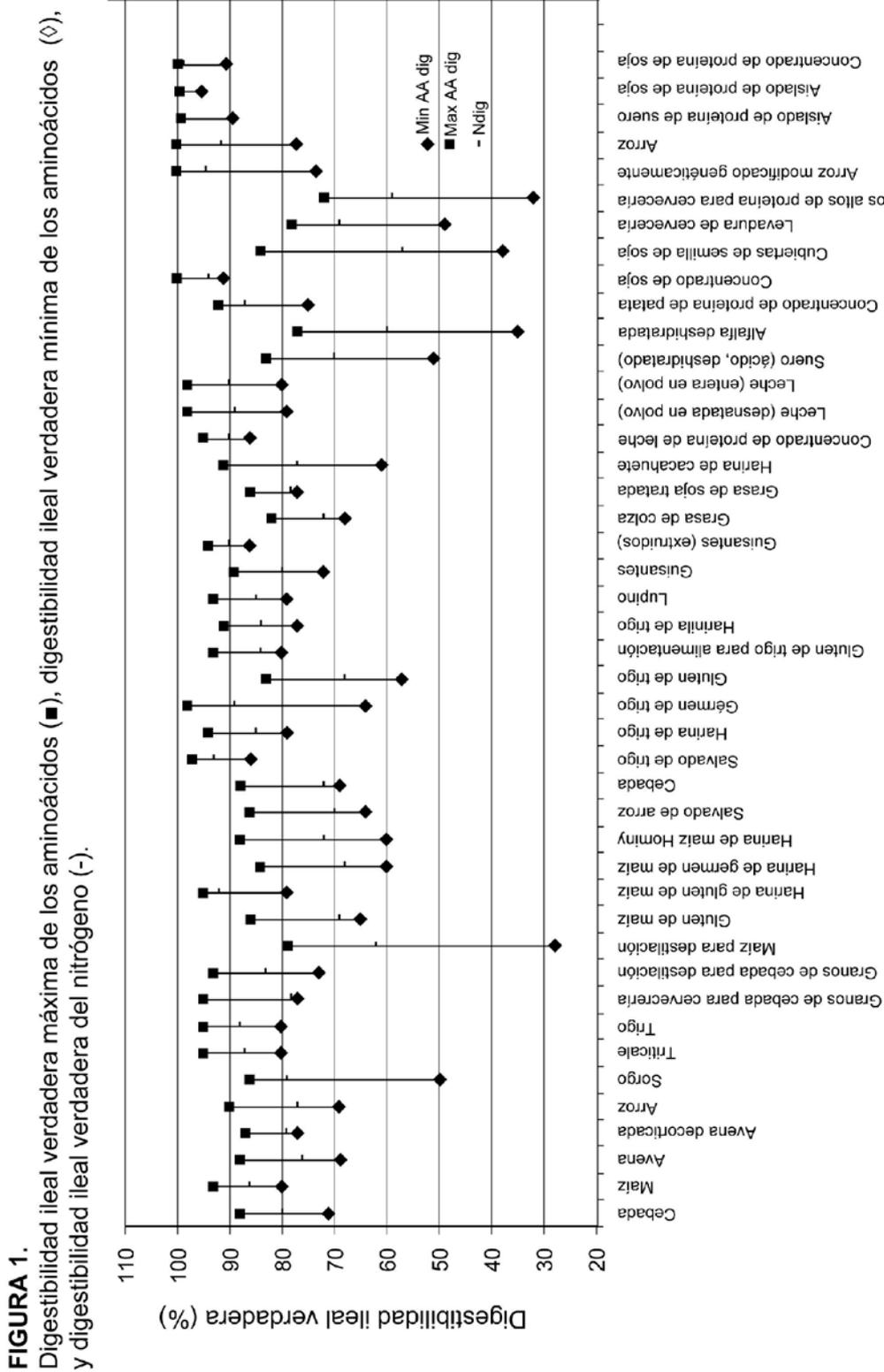
**TABLA 9:** Digestibilidad ileal verdadera (%) del nitrógeno y de los aminoácidos de la dieta para proteínas de leche o soja en voluntarios humanos sanos (de Gaudichon et al., 2002)

	<b>Leche</b>	<b>Soja</b>
<b>Aspartato + asparagina</b>	94.3 ± 2.1	93.2 ± 4.0
<b>Serina</b>	92.0 ± 2.5	93.2 ± 3.9
<b>Glutamato + glutamina</b>	95.3 ± 2.0	96.6 ± 2.8
<b>Prolina</b>	96.1 ± 2.2 <sup>a</sup>	92.8 ± 3.8
<b>Glisina</b>	91.6 ± 4.0	90.1 ± 5.1
<b>Alanina</b>	95.9 ± 1.9 <sup>a</sup>	92.3 ± 2.5
<b>Tirosina</b>	99.3 ± 0.4 <sup>a</sup>	96.8 ± 1.5
<b>Treonina</b>	93.4 ± 2.3 <sup>a</sup>	89.0 ± 4.9
<b>Valina</b>	95.9 ± 1.9 <sup>a</sup>	92.5 ± 3.5
<b>Isoleucina</b>	95.4 ± 1.8	93.5 ± 3.1
<b>Leucina</b>	95.1 ± 2.2	93.3 ± 3.0
<b>Fenilalanina</b>	95.6 ± 2.3	95.5 ± 2.3
<b>Lisina</b>	94.9 ± 2.7	95.0 ± 2.5
<b>Histidina</b>	94.9 ± 2.7 <sup>a</sup>	91.7 ± 1.7
<b>Digestibilidad promedio de aminoácidos</b>	95.3 ± 1.8	93.8 ± 3.0
<b>Digestibilidad de nitrógeno</b>	95.3 ± 0.9 <sup>a</sup>	91.7 ± 1.8

NOTA. Los valores son medias ± desviación estándar, (n = 7 y n= 6 para leche y soja respectivamente).

<sup>a</sup>Significativamente diferentes para el grupo de la soja (ANOVA, P < 0.05).

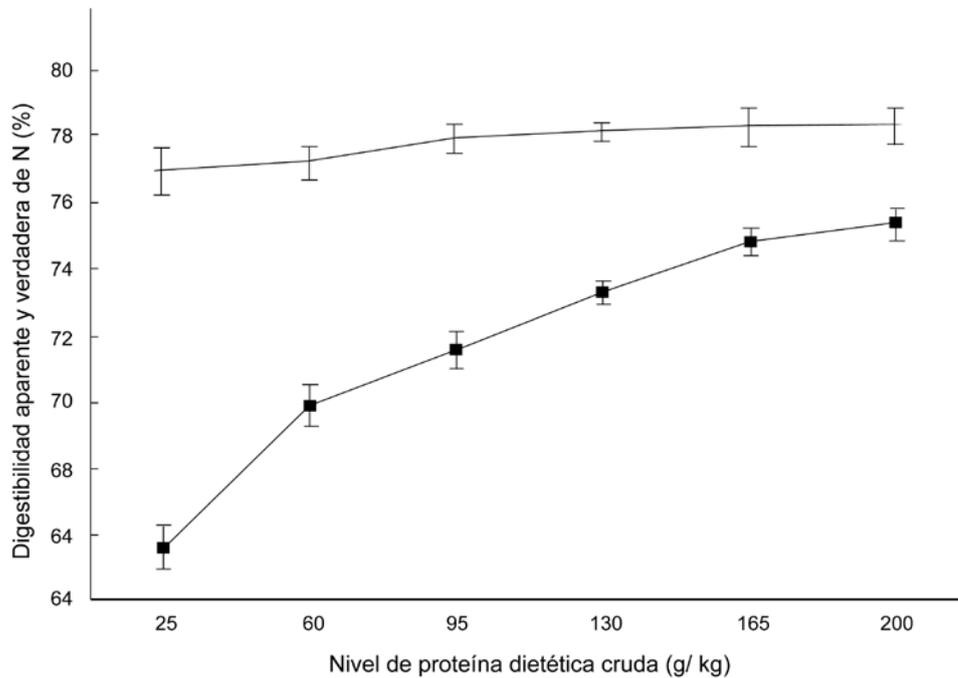
<sup>b</sup>Calculadas a partir las digestibilidades de los aminoácidos ajustadas por la proporción de cada aminoácido en la proteína de la dieta.



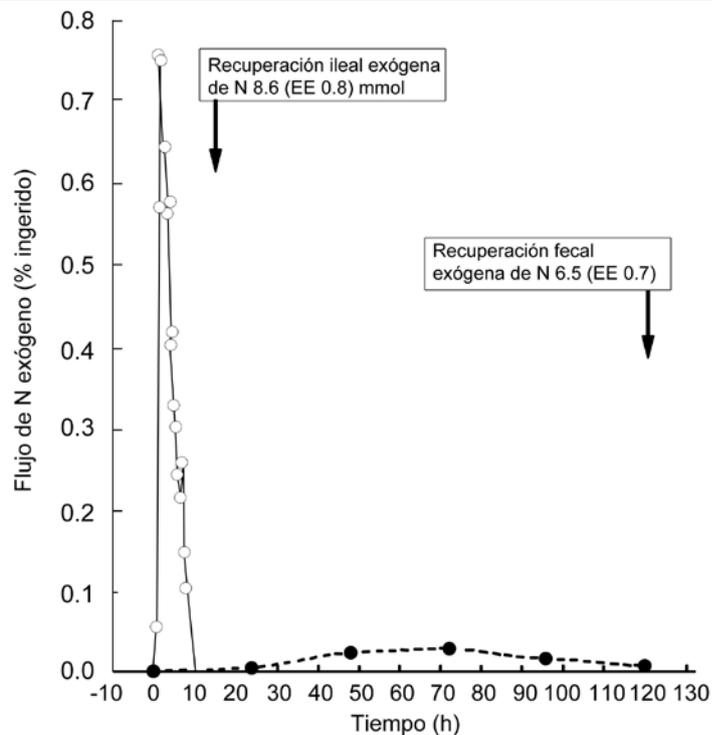
Fuente de los datos: AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF (2000); Han et al. (2006) y Moughan et al. (2005b). Todos los valores provienen de estudios con cerdos en crecimiento excepto los tres últimos (aislado proteico de suero, aislado proteico de soja, concentrado proteico de soja) que se obtuvieron en adultos humanos.

**FIGURA 2.**

Efecto del contenido en proteínas de la dieta sobre el promedio de valores de la digestibilidad ileal aparente (•) y verdadera (+) del nitrógeno en ratas alimentadas con una dieta basada en carne y hueso (Donkoh y Moughan, 1994).

**FIGURA 3.**

Nitrógeno exógeno recuperado en el íleon(o) y en las heces(•) tras la ingestión de leche [ $^{15}\text{N}$ ] en adultos sanos tras un ayuno nocturno. Cada valor representa la media de 5 individuos (Bos et al., 1999).



## Referencias

---

- AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF.** (2000) AMiPig, Ileal Standardised digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs.
- Bos, C., Gaudichon, C. and Tomé, D.** (2002) Isotopic studies of protein and amino acid requirements. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care.* 5(1), 55-61. Review.
- Bos, C., Mahé, S., Gaudichon, C., Benamouzig, R., Gausserès, N., Luengo, C., Ferrière, F., Rautureau, J. and Tomé, D.** (1999). Assessment of net postprandial protein utilisation of <sup>15</sup>N- labelled milk nitrogen in human subjects. *British Journal of Nutrition.* 81, 221-6.
- Bos, C., Metges, C.C., Gaudichon, C., Petzke, K.J., Pueyo, M.E., Morens, C., Everwand, J., Benamouzig, R. and Tomé, D.** (2003) Postprandial kinetics of dietary amino acids are the main determinant of their metabolism after soy or milk protein ingestion in humans. *Journal of Nutrition.* 133, 1308–15.
- Bos, C., Juillet, B., Fouillet, H., Turlan, L., Daré, S., Luengo, C., N'tounda, R., Benamouzig, R., Gausserès, N., Tomé, D. and Gaudichon, C.** (2005) Postprandial metabolic utilization of wheat protein in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 81, 87-94.
- Bos, C., Airinei, G., Mariotti, F., Benamouzig, R., Bérot, S., Evrard, J., Fénart, E., Tomé, D. and Gaudichon, C.** (2007) The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans. *Journal of Nutrition.* 137(3), 594-600.
- Chacko A. and Cummings J.H.** (1988) Nitrogen losses from the human small bowel: obligatory losses and the effect of physical form of food. *Gut* 29, 809–815.
- Cole, D.J.A., Dean, G.W. and Luscombe, J.R.** (1970) Single cereal diets for bacon pigs. 2. The effects of methods of storage and preparation of barley on performance and carcass quality. *Animal Production.* 12, 1-6.
- Columbus, D. and de Lange, C.F.M.** (2012) Evidence for validity of ileal digestibility coefficients in monogastrics. *British Journal of Nutrition.* 108, S264-S272.
- Crampton, E.W. and Bell, J.M.** (1946) The effect of fineness of grinding on the utilisation of oats by market hogs. *Journal of Animal Science.* 5, 200-210.
- Deglaire, A. and Moughan, P.J.** (2012) Animal models for determining amino acid digestibility in humans - a review. *British Journal of Nutrition.* 108, S273-S281.
- Deglaire, A., Fromentin, C., Fouillet, H., Airinei, G., Gaudichon, C., Boutry, C., Benamouzig, R., Moughan, P.J., Tomé, D. and Bos, C.** (2009) Hydrolyzed dietary casein as compared with the intact protein reduces postprandial peripheral, but not whole-body, uptake of nitrogen in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 90(4), 1011-22.
- Dierick, N.A., Vervaeke, I., Decuypere, J., van der Heyde, H. and Henderickx, H.** (1988) In: *European Association for Animal Production Publication No. 35*, pp 50-51 Rostock: EAAP.

- Donkoh, A. and Moughan, P.J.** (1994) The effect of dietary crude protein content on apparent and true ileal nitrogen and amino acid digestibilities. *British Journal of Nutrition*. 72, 59-68.
- Evenepoel, P., Geysens, B., Luybaerts, A., Hiele, M. and Ghoo, Y.** (1998) Digestibility of cooked and raw egg protein in humans as assessed by stable isotope techniques. *Journal of Nutrition*. 128, 1716-1722.
- FAO/WHO** (1991) Protein Quality Evaluation: Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, FAO Food and Nutrition Paper 51. Rome: FAO.
- Fouillet, H., Bos, C., Gaudichon, C. and Tomé D.** (2002) Approaches to quantifying protein metabolism in response to nutrient ingestion. *Journal of Nutrition*. 132(10), 3208S-18S. Review.
- Fuller, M.** (2012) Determination of protein and amino acid digestibility in food including implications of gut microbial amino acid synthesis. *British Journal of Nutrition*. 108, S238- S246.
- Fuller, M.F. and Tomé, D.** (2005) In vivo determination of amino acid bioavailability in humans and model animals. *Journal of AOAC International*. 88(3), 923-34. Review.
- Fuller, M.F., Milne, A., Harris, C.I., Reid, T.M. and Keenan, R.** (1994) Amino acid losses in ileostomy fluid on a protein-free diet. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 59, 70-73.
- Gaudichon, C., Bos, C., Morens, C., Petzke, K.J., Mariotti, F., Everwand, J., Benamouzig, R., Daré, S., Tomé, D., and Metges, C.C.** (2002) Ileal losses of nitrogen and amino acids in humans and their importance to the assessment of amino acid requirements. *Gastroenterology*. 123(1), 50- 9.
- Gausserès, N., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Drouet, H., Rautureau, J. and Tomé, D.** (1996) The gastro-ileal digestion of <sup>15</sup>N-labelled pea nitrogen in adult humans. *British Journal of Nutrition*. 76(1), 75-85.
- Gausserès, N., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Ferriere, F., Rautureau, J. and Tomé, D.** (1997) [<sup>15</sup>N]-labeled pea flour protein nitrogen exhibits good ileal digestibility and postprandial retention in adult humans. *Journal of Nutrition*. 127(6), 1160-1165.
- Gibson, J.A., Claden, G.E. and Dawson, A.M.** (1976) Protein absorption and ammonia production: the effects of dietary protein and removal of the colon. *British Journal of Nutrition*. 35, 61-65.
- Han, J.H., Yang, Y.X., Men, J.H., Bian, L.H. and Guo, J.** (2006) Comparison of ileal digested production of parental rice and rice genetically modified with cowpeas trypsin inhibitor. *Biomedical and Environmental Sciences* 19, 42-46.
- Hendriks, W.H., van Baal, J. and Bosch, G.** (2012) Ileal and faecal protein digestibility measurement in monogastric animals - a comparative species view. *British Journal of Nutrition*. 108, A247-S257.
- Hurrell, R.F. and Carpenter, K.J.** (1981) The estimation of available lysine in foodstuffs after Maillard reactions. *Progress in Food and Nutritional Science*. 5, 159-176.

- Istfan, N., Murray, E., Tanghorbani, M. and Young, V.R.** (1983) An evaluation of the nutritional value of a soy protein concentrate in young adult men using the short-term N-balance method. *Journal of Nutrition*. 113, 2516-2523.
- Juillet, B., Fouillet, H., Bos, C., Mariotti, F., Gausserès, N., Benamouzig, R., Tomé, D., and Gaudichon, C.** (2008) Increasing habitual protein intake results in reduced postprandial efficiency of peripheral, anabolic wheat protein nitrogen use in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 87, 666-78.
- Just, A., Jorgensen, H. and Fernandez, J.A.** (1985) Correlation of protein deposited in growing female pigs to ileal and faecal digestible crude protein and amino acids. *Livestock Production Science*. 12, 145-159.
- Lawrence, T.L.J.** (1967) High level cereal diets for the growing/finishing pig. 1. The effect of cereal preparation and water level on the performance of pigs fed diets containing high levels of wheat. *Journal of Agricultural Science*. 68, 269-274.
- Lenis, N.P.** (1983) Faecal amino acid digestibility in feedstuffs for pigs. In: Arnal, M., Pion, R. And Bonin, D. (eds) *Metabolisme et Nutrition Azotes*. INRA, Paris, pp. 385-389.
- Li, S., Sauer, W.C. and Caine, W.R.** (1998) Response of nutrient digestibilities to feeding diets with low and high levels of soybean trypsin inhibitors in growing pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 76, 357-363
- Low, A.G.** (1980) Nutrient absorption in pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 31, 1087-1130.
- Low, A.G., Partridge, I.G., Keal, H.D. and Jones, A.R.** (1982) A comparison of methods in vitro and in vivo of measuring amino acid digestibility in foodstuffs as predictors of pig growth and carcass composition. *Animal Production*. 34, 403.
- Mahé, S., Huneau, J.F., Marteau, P., Thuillier, F. and Tomé, D.** (1992) Gastroileal nitrogen and electrolyte movements after bovine milk ingestion in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 56, 410-416.
- Mahé, S., Marteau, P., Huneau, J.F., Thuillier, F. and Tomé, D.** (1994) Intestinal nitrogen and electrolyte movements following fermented milk ingestion in man. *British Journal of Nutrition*. 71(2), 169-80.
- Mariotti, F., Mahé, S., Benamouzig, R., Luengo, C., Dare, S., Gaudichon, C. and Tomé, D.** (1999) Nutritional value of [15N]-soy protein isolate assessed from ileal digestibility and postprandial protein utilization in humans. *Journal of Nutrition*. 129, 1992-1997.
- Mariotti, F., Pueyo, M.E., Tomé, D., Berot, S., Benamouzig, R. and Mahé, S.** (2001) The influence of the albumin fraction on the bioavailability and postprandial utilization of pea protein given selectively to humans. *Journal of Nutrition*. 131, 1706-13.
- Mariotti, F., Pueyo, M.E., Tomé, D. and Mahé, S.** (2002) The bioavailability and postprandial utilisation of sweet lupin (*Lupinus albus*)-flour protein is similar to that of purified soyabean protein in human subjects: a study using intrinsically 15N-labelled proteins. *British Journal of Nutrition*. 87, 315-23.

- Miller, E.R. and Ullrey, D.E.** (1987) The pig as a model for human nutrition. *Annual Review of Nutrition*. 7, 361-382.
- Moughan, P.J.** (2003) Amino acid availability: aspects of chemical analysis and bioassay methodology. *Nutrition Research Reviews*. 16, 127-141.
- Moughan, P.J. and Smith, W.C.** (1985) Determination and assessment of apparent ileal amino acid digestibility coefficients for the growing pig. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 28, 365-370.
- Moughan, P.J. and Rowan, A.M.** (1989) The pig as a model for human nutrition research. *Proceedings of the Nutrition Society of New Zealand*. 14, 116-123.
- Moughan, P.J. and Rutherford, S.M.** (1996) A new method for determining digestible reactive lysine in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44, 2202-2209.
- Moughan, P.J. and Rutherford, S.M.** (2012) Gut luminal endogenous protein: Implications for the determination of ileal amino acid digestibility in humans. *British Journal of Nutrition*. 108, S258-S263.
- Moughan, P.J. and Stevens, B.R.** (2012) Digestion and Absorption of Protein. In: Stipanuk, M.H. and Caudill M.A. (Eds). *Biochemical, Physiological and Molecular Aspects of Human Nutrition* (pp162-178) Elsevier, St Louis, USA.
- Moughan, P.J., Smith, W.C. and James, K.A.C.** (1984) Preliminary observations on the use of the rat as a model for the pig in the determination of apparent digestibility of dietary protein. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 27, 509-512.
- Moughan, P.J., Gall, M.P.J. and Rutherford, S.M.** (1996) Absorption of lysine and deoxyketosyllysine in an early Maillard browned casein by the growing pig. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44, 1520-1525.
- Moughan, P.J. Souffrant, W.G. and Hodgkinson, S.M.** (1998) Physiological approaches to determining gut endogenous amino acid flows in the mammal. *Archives of Animal Nutrition*. 51, 237-252
- Moughan, P.J., Stevens, E.V.J., Reisima, I. and Rendel, J.** (1989) The influence of Avoparcin on the ileal and faecal digestibility of nitrogen and amino acids in the milk-fed calf. *Animal Production*. 49, 63-71.
- Moughan, P.J., Pedraza, M., Smith, W.C., Williams, M. and Wilson, M.N.** (1990), An evaluation with piglets of bovine milk, hydrolysed bovine milk and isolated soybean proteins included in infant milk formulas. I. Effect on organ development, digestive enzyme activities, and amino acid digestibility. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 10, 385-394.
- Moughan, P.J., Smith, W.C., Pearson, G. and James, K.A.C.** (1991) Assessment of apparent ileal lysine digestibility for use in diet formulation for the growing pig. *Animal Feed Science and Technology*. 34, 95-109.
- Moughan, P.J. Birtles, M.J., Cranwell, P.D., Smith, W.C. and Pedraza, M.** (1992) The piglet as a model animal for studying aspects of digestion and absorption in milk-fed human infants. *World Review of Nutrition and Dietetics*. 67, 40-113.

- Moughan, P.J., Cranwell, P.D., Darragh, A.J. and Rowan, A.M.** (1994) The domestic pig as a model for studying digestion in humans, In: Digestive Physiology in the pig. W.B. Souffrant and H.
- Hagemeister**, (Editors). Forschungsinstitut für die Biologie Landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN), Volume II, pp. 389-396.
- Moughan, P.J., Butts, C.A., Rowan, A. M., and Deglaire, A.** (2005a) Dietary peptides increase gut endogenous amino acid losses in adult humans. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81, 1359-1365.
- Moughan, P.J., Butts, C.A., van Wijk, H., Rowan, A.M. and Reynolds, G.W.** (2005b) An acute ileal amino acid digestibility assay is a valid procedure for use in human ileostomates. *Journal of Nutrition*. 135, 404-409.
- Pond, W.G. and Houpt, K.A.** (1978) *The biology of the pig*. New York: Ithaca Comstock Press.
- Raharjo, Y. and Farrell, D.J.** (1984) A new biological method for determining amino acid digestibility in poultry feedstuffs using a simple cannula, and the influence of dietary fibre on endogenous amino acid output. *Animal Feed Science and Technology*. 12, 29-45.
- Rowan, A.M., Moughan, P.J. and Wilson, M.N.** (1993) Endogenous amino acid flow at the terminal ileum of adult humans determined following the ingestion of a single protein-free meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 61, 439-442.
- Rowan, A.M., Moughan, P.J., Wilson, M.N., Maher, K. and Tasman-Jones, C.** (1994) Comparison of the ileal and faecal digestibility of dietary amino acids in adult humans and evaluation of the pig as a model animal for digestion studies in man. *British Journal of Nutrition*. 71, 29-42.
- Rutherford, S.M. and Moughan P.J.** (2012) Available versus digestible dietary amino acids. *British Journal of Nutrition*. 108, S298-S305.
- Rutherford, S.M., Moughan, P.J. and Morel, P.C.H.** (1997) Assessment of the true ileal digestibility of reactive lysine as a predictor of lysine uptake from the small intestine of the growing pig. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 4378 – 4383.
- Sammons, H.G.** (1961) Factors affecting faecal composition – a comparison of ileal discharge and faeces. *Biochemistry Journal*. 80, 30P-31P.
- Sandstrom, B, Anderson, H., Kivisto B. and Sandberg, A.S.** (1986) Apparent small intestinal absorption of nitrogen and minerals from soy and meat-protein based diets. A study on ileostomy subjects. *Journal of Nutrition* 116, 2209-2218.
- Sarwar Gilani** (1987) Digestibility of protein and bioavailability of amino acids in foods. *World Review of Nutrition and Dietetics* 54, 26-70.
- Sauer, W.C. and Just, A.** (1979) Amino acid digestibilities in rations for growing pigs. In: 58th Annual Feeder's Day Report. University of Alberta, Alberta, pp. 22-25.
- Sauer, W.C. and Ozimek, L.** (1986) Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical application – A review. *Livestock Production Science*. 15, 367-388.

- Sauer, W.C., Stothers, S.C. and Parker, R.J.** (1977) Apparent and true availabilities of amino acids in wheat and milling by-products for growing pigs. *Canadian Journal of Animal sciences.* 57, 775-784.
- Schrimshaw, N.S., Wayler, A.H., Murray, E., Steinke, F.H., Rand, W.M. and Young, V.R.** (1983) Nitrogen balance in young men given one of two isolated soy proteins or milk protein. *Journal of Nutrition.* 113, 2492-2497.
- Tanksley, T.D. and Knabe, D.A.** (1980) Availability of amino acids for swine. In: *Proceedings of the 1980 Georgia Nutrition Conference for the Feed Industry*, pp 157-168 Atlanta: University of Georgia.
- Van Weerden, E.J., Huisman, J., van Leeuwen, P. and Slump, P.** (1985) The sensitivity of the ileal digestibility method as compared to the faecal digestibility method. In: *Digestive Physiology in the Pig*, pp 392-395 [A. Just, H. Jorgensen and J.A. Fernandez, editors], Copenhagen: National Institute of Animal Science.
- Vince, A., O'Grady, F. and Dawson, A.M.** (1973) The development of ileostomy flora. *Journal of Infectious Diseases.* 128, 638-641.
- Wayler, A., Querioz, E., Schrimshaw, N.S., Steinke, F.H., Rand, W.M. and Young, V.R.** (1983) Nitrogen balance studies in young men to assess the protein quality of an isolated soy protein in relation to meat proteins. *Journal of Nutrition.* 113, 2485-2491.
- WHO/FAO/UNU** (2007) *Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition*; Report of a joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation, WHO Tech Rep Ser no. 935. Geneva: WHO.
- Wrong, O.J., Edmonds, C.J. and Chadwick V.S.** (1981) *The large intestine: Its role in mammalian nutrition and homeostasis.* Lancaster, UK: MTP Press Ltd.
- Young, V.R., Puig, M., Queiroz, E., Schrimshaw, N.S. and Rand, W.M.** (1984) Evaluation of the protein quality of an isolated soy protein in young men: relative nitrogen requirements and effect of methionine supplementation. *American Journal of Clinical Nutrition.* 39, 16-24.

# Apéndice 1: Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y proteínas (%) de alimentos seleccionados para humanos

---

Recopilado por: Paul J Moughan y Shane M Rutherfurd  
Riddet Institute, Massey University, Private Bag 11-222, Palmerston North 4442, Nueva Zelanda (Agosto 2011)

## INTRODUCCIÓN

Los alimentos se ordenan en las tablas alfabéticamente. Dentro de un alimento determinado, se proporcionan en primer lugar los datos obtenidos directamente de humanos. En segundo lugar, se proporcionan los datos obtenidos por predicción (ecuaciones de regresión) utilizando el cerdo en crecimiento. En tercer lugar, se proporcionan los datos de digestibilidad obtenidos utilizando ratas de laboratorio en crecimiento. Para el cálculo de los DIAAS, el informe FAO 2012 recomienda usar en primer lugar los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos obtenidos en humanos; en segundo lugar, los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera obtenidos en cerdo; y en tercer lugar, los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera obtenidos en ratas en crecimiento.

Existe un amplio acuerdo sobre las similitudes de la digestibilidad ileal de los aminoácidos entre el humano adulto y el cerdo en crecimiento. Basándose en principios básicos, puede considerarse que el cerdo en crecimiento es un modelo animal apropiado para el estudio de la digestión de proteínas en humanos. Podría argumentarse que los datos de digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos son válidos para usarse de forma intercambiable con los humanos. Sin embargo, pueden existir pequeñas diferencias entre las especies. Por ello, los datos más exactos para su aplicación práctica deben ser los valores de digestibilidad estadísticamente predichos (modelo de regresión lineal) basados en los valores de digestibilidad del cerdo. Este modelo de regresión ha sido publicado (aunque basado en un número limitado de observaciones) y se ha aplicado aquí para obtener los valores de digestibilidad para humanos a partir de los valores determinados en cerdos (Deglaire, *et al.*, 2009). En el caso de la rata, no se han determinado ecuaciones de regresión similares, por lo que los valores de digestibilidad ileal verdadera de la rata se utilizan tal como se han determinado. Algunos estudios, aunque no todos, han mostrado concordancias estrechas para la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos entre el cerdo y la rata en crecimiento. Se han realizado pocas comparaciones directas entre la digestibilidad ileal de los aminoácidos en humanos y en ratas.

En la tabla, algunos datos son medias de observaciones a partir de un único estudio, mientras que en otros casos son promedios obtenidos a partir de varios estudios. Se indican las

referencias de los estudios. Además, se adjunta una lista completa de referencias al final de la tabla. Es importante señalar que los valores denominados RL para la lisina han sido determinados utilizando el ensayo de digestibilidad ileal verdadera de la lisina reactiva (disponible), que implica la cuantificación de la lisina en el alimento y en la digesta tras reaccionar con el reactivo o-metil-isourea (Moughan, et al., 2009). Estos son los valores preferidos para la digestibilidad de la lisina.

Los valores de digestibilidad se expresan como porcentajes (%).

**TABLA DEL APÉNDICE 1.**  
**Digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y proteínas (expresada en %) de alimentos seleccionados para humanos.**

	Albúmina de suero bovino (hidrolizada) <sup>14</sup>		Alubias (cocidas) <sup>20</sup>		Alubias (cocidas) <sup>20</sup>		Arroz <sup>6</sup>		Arroz <sup>8</sup>		Arroz (cocido) <sup>8,14</sup>	
	Ratas <sup>D,EHC</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Humanos <sup>P,HDP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,HDP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	83	77	87	95	85	83	85	83	83	85	76	76
Treonina	80	72	74	81	82	81	82	81	81	82	71	71
Serina	80	80	75	86	93	86	93	88	88	93	75	75
Ácido Glutámico	86	81	85	100	91	81	91	84	84	91	66	66
Glicina	53	48	100	65	86	48	86	78	78	86	50	50
Alanina	88	74	80	78	82	74	82	90	90	82	75	75
Valina	89	75	62	65	88	75	88	92	92	88	80	80
Isoleucina	84	81	70	75	75	81	75	90	90	75	78	78
Leucina	91	82	69	70	81	82	81	92	92	81	79	79
Tirosina	92	79	64	64	79	79	79	89	89	79	77	77
Penilalanina	90	82	72	74	86	82	86	90	90	86	80	80
Histidina	82	81	63	66	99	81	99	90	90	99	85	85
Lisina	92	94	83	84	92	94	92	97	97	92	95	95
Arginina	92	77	93	86	90	77	90	89	89	90	85	85
Cisteina	89	69	93	86	97	69	97	85	85	97	57	57
Metionina	82	88	100	80	86	82	86	89	89	86	57	57
Prolina	80	74	74	80	99	74	99	91	91	99	75	75
Triptófano		77	87	80	89	77	89	89	89	89	86	86
Proteína		80	74	78	90	80	90	90	90	90	86	86

D de terminado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughar<sup>20</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Arroz, salvado de <sup>1,2,4</sup>	Arroz, concentrado de proteína de <sup>14</sup>	Avena <sup>1,2,4,5</sup>	Avena (sin cáscara) <sup>1</sup>	Avena (grano pelado) <sup>5</sup>	Boniatos, (deshidratados) <sup>5</sup>	Caña de azúcar, melaza de (azúcar <47.5 %) <sup>5</sup>
	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>
Ácido aspártico	69	79	73	81	80	51	94
Treonina	64	82	70	78	78	51	99
Serina	70	84	75	83	84	47	99
Ácido Glutámico	79	81	83	85	88	51	93
Glicina	64	76	71	78	81	50	99
Alanina	71	86	70	75	79	50	92
Valina	66	84	79	79	87	47	99
Isoleucina	67	84	80	81	88	55	99
Leucina	67	83	82	81	88	51	78
Tirosina	79	83	81	83	89	51	99
Penilalanina	68	84	84	81	91	53	99
Histidina	77	86	85	81	92	47	99
Lisina	69	88	76	77	83	53	99
Arginina	82	90	88	84	95	53	99
Cisteina	65	71	72	83	80	47	99
Metionina	73	66	82	83	89	64	99
Prolina	61		77		91	47	99
Triptófano	72	85	77	80	79	47	99
Proteína	65	80	74	77	79	52	94

D determinado.

DMV Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digerible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>32</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Caña de azúcar, melaza de (azúcar >47.5%) <sup>5</sup>	Carne, hidrolizado proteína de <sup>14</sup>	Caseína <sup>23</sup>	Caseína <sup>5,17,23</sup>	Caseína, hidrolizado de <sup>23</sup>	Caseína, hidrolizado de <sup>23</sup>	Caseína, hidrolizado de <sup>16</sup>
	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Ratas <sup>D,EHC</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>	Humanos <sup>P,I</sup>	Ratas <sup>D,EHC</sup>
Ácido aspártico	93	92	92	95	93	90	91
Treonina	99	93	93	92	95	93	91
Serina	99	92	87	91	87	83	82
Ácido Glutámico	92	93	94	96	92	91	91
Glicina	82	82		95	65		
Alanina	92	96	95	94	93	94	91
Valina	99	96	94	95	96	92	91
Isoleucina	99	97	94	96	91	93	91
Leucina	78	98	97	97	99	97	96
Tirosina	99	96	97	98	99	97	98
Penilalanina	99	97	96	98	99	97	97
Histidina	99	91	95	97	100	93	95
Lisina	99	97	97	97	97	98	97
Arginina	99	98		97	98		
Cisteína	64	79		90			
Metionina	99	98		97	96		
Prolina	99	89	96	97	98	95	94
Triptófano	99			97			
<b>Proteína</b>	<b>94</b>		<b>94</b>	<b>95</b>		<b>92</b>	<b>94</b>

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>1</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Caseína láctica <sup>10</sup>	Caseinato de calcio <sup>10</sup>	Caseinato de sodio <sup>7</sup>	Caseinato de sodio <sup>10</sup>	Cebada <sup>1,2,4,5,19</sup>	Centeno <sup>1,2,4,5</sup>	Cereal de desayuno (arroz inflado) <sup>14</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	96	93	98	92	76	75	51
Treonina	94	92	100	93	77	69	64
Serina	90	83	99	86	81	76	63
Ácido Glutámico	93	89	99	89	87	87	61
Glicina	86	91	100	86	78	70	15
Alanina	97	97	100	96	72	66	71
Valina	97	96	100	95	80	73	69
Isoleucina	95	92	100	91	81	75	69
Leucina	99	98	100	98	82	76	67
Tirosina	100	100	100	100	83	75	68
Penilalanina	100	100	100	100	83	80	70
Histidina	96	94	99	93	82	77	66
Lisina	99	98	100	98	76	70	100
Arginina	98	98	100	98	83	78	72
Cisteína	99	83	100	93	81	82	
Metionina	100	83	100	100	83	79	
Prolina			99		91	89	40
Triptófano					80	74	
<b>Proteína</b>			<b>100</b>		<b>78</b>	<b>75</b>	

D Determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>21</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/Ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Cereal de desayuno (arroz inflado) 1 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (arroz inflado) 2 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (copos de avena) 1 <sup>15</sup>	Cereal de desayuno (copos de avena) 2 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (copos de avena) 3 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (copos de avena) 4 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (copos de avena) 5 <sup>14</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	63	49	82	76	73	87	85
Treonina	76	57	81	77	73	84	83
Serina	80	61	85	80	75	88	87
Ácido Glutámico	68	58	91	88	86	92	93
Glicina	50	17	69	59	57	78	70
Alanina	67	59	82	79	72	86	83
Valina	74	65	86	82	78	89	86
Isoleucina	75	66	88	85	81	91	89
Leucina	71	62	88	85	81	91	89
Tirosina	70	60	88	82	77	90	89
Penilalanina	75	65	91	86	82	93	91
Histidina	71	54	74	71	67	74	91
Lisina	87	90	84	90	86	91	91
Arginina	71	78	89	85	80	90	86
Cisteína			94	89	86		93
Metionina	73	23	85	83	79	92	94
Prolina	60	56				86	
Triptófano			82	76	73		84
Proteína			81	77	73		88

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan.<sup>28</sup>

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WMI Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Cereal de desayuno (copos de avena/trigo/ maíz) <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (galleta de trigo triturado) <sup>14</sup>	Cereal de desayuno (galleta de trigo triturado) 1 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (galleta de trigo triturado) 2 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (galleta de trigo triturado) 3 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (galleta de trigo triturado) 4 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (galleta de trigo triturado) 5 <sup>13</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	77	23	63	54	59	64	48
Treonina	75	42	76	76	77	72	70
Serina	81	64	85	86	84	83	82
Ácido Glutámico	89	85	92	93	91	91	90
Glicina	61	2	61	54	55	59	44
Alanina	82	54	78	80	77	75	75
Valina	85	63	83	86	82	80	80
Isoleucina	87	70	85	89	85	84	84
Leucina	87	78	87	90	87	84	86
Tirosina	85	73	88	88	87	85	86
Penilalanina	90	79	91	94	91	87	90
Histidina	51	50	51	52	76	43	48
Lisina	79	43	84	86	81	76	68
Arginina	84	73	85	86	85	80	84
Cisteína							
Metionina	91		88	90	89	88	86
Prolina	82	80	90	83	89	88	89
Triptófano							
Proteína							

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52)

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Cereal de desayuno (maíz en hojuelas) <sup>14</sup>	Cereal de desayuno (maíz extruido) 1 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (maíz extruido) 2 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (salvado de trigo) <sup>14</sup>	Cereal de desayuno (trigo en hojuelas) 1 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (trigo en hojuelas) 2 <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (trigo inflado) <sup>13</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	57	74	70	69	49	62	46
Treonina	69	75	80	67	62	74	71
Serina	80	84	90	74	69	83	83
Ácido Glutámico	87	83	85	85	81	92	91
Glicina	23	43	47	56	20	56	50
Alanina	86	87	85	68	63	77	75
Valina	76	79	81	70	68	82	84
Isoleucina	77	87	85	75	74	85	87
Leucina	89	90	90	75	76	88	90
Tirosina	88	87	89	73	75	87	89
Penilalanina	87	90	91	77	80	92	93
Histidina	74	71	71	82	49	79	52
Lisina	66	100	74	85	66	66	60
Arginina	73	59	50	72	70	83	87
Cisteína	66			78			88
Metionina	85	96	93	82	79	85	89
Prolina	57	68	77		69	90	
Triptófano	42			75			46
Proteína	67			73			71

D Determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>1</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Cereal de desayuno (trigo/arroz/avena inflado) <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (trigo/arroz/maíz inflado) <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (trigo/avena/maíz extruido) <sup>13</sup>	Cereal de desayuno (trigo/avena/maíz extruido) <sup>14</sup>	Coco, extracto de <sup>5</sup>	Colza, aislado de proteína de <sup>23</sup>	Colza, aislado de proteína de <sup>23</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>	Humanos <sup>P,I</sup>
Ácido aspártico	67	46	71	76	55		
Treonina	74	60	84	89	55		
Serina	78	78	90	92	55		
Ácido Glutámico	86	83	96	97	55		
Glicina	31	0	74	76	55		
Alanina	76	71	85	90	55		
Valina	80	75	90	91	54		
Isoleucina	83	81	93	94	56		
Leucina	84	83	94	96	55		
Tirosina	82	83	93	96	56		
Penilalanina	86	88	97	97	55		
Histidina	68	49	78	85	53		
Lisina	91	53	63	96	54		
Arginina	79	80	89	94	55		
Cisteina	87	82			56		
Metionina	78	78	94		56		
Prolina			95	95	54		
Triptófano	67	46			57		

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan.<sup>28</sup>

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Dosa (comida hindú) <sup>8</sup>	Fórmula infantil (a partir de leche de cabra) <sup>15</sup>	Fórmula infantil (a partir de leche de vaca) <sup>15</sup>	Fórmula infantil A <sup>9</sup>	Fórmula infantil B <sup>9</sup>	Fórmula infantil C <sup>9</sup>	Fórmula para adultos mayores <sup>9</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC</sup>	Ratas <sup>D,EHC</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	90	97	99	81	85	82	88
Treonina	90	88	91	83	87	84	88
Serina	91	95	98	81	82	76	86
Ácido Glutámico	90	99	100	87	88	86	91
Glicina	72	56	82	43	56	33	64
Alanina	90	91	96	72	80	77	94
Valina	92	98	98	86	88	86	93
Isoleucina	91	98	99	84	87	83	92
Leucina	95	99	99	92	92	92	97
Tirosina	90	98	100	93	92	93	98
Penilalanina	93	97	98	92	91	93	98
Histidina	94	90	91	89	89	90	95
Lisina	95	96	95	91	92	93	97
Arginina	92	95	98	82	83	84	94
Cisteína	82	92	97				
Metionina	92	100	100				
Prolina	97	96	95				
Triptófano		89	93				
Proteína		92	93	81			

D de terminado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52)

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Fórmula para deportistas <sup>9</sup>	Fórmula para ganar peso <sup>9</sup>	Galletas (CP <12%) <sup>5</sup>	Galletas (CP >12%) <sup>5</sup>	Garbanzos (curry) <sup>8</sup>	Germen de maíz, harina de <sup>1,4</sup>	Guisantes <sup>1,2,3,4,5</sup>
	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP,WM</sup>	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>
Ácido aspártico		93	88	90	70	57	80
Treonina	92	95	88	91	80	69	74
Serina	82	88	94	91	84	73	78
Ácido Glutámico	89	92	93	93	89	73	83
Glicina	65	82	89	92	53	60	77
Alanina	95	96	92	89	84	69	73
Valina	91	93	91	90	83	72	74
Isoleucina	89	92	92	92	82	75	77
Leucina	96	97	93	91	88	79	77
Tirosina	99	99	90	94	88	76	78
Penilalanina	97	98	88	88	90	81	76
Histidina	96	97	94	93	87	78	81
Lisina	98	99	89	89	90	60	81
Arginina	92	95	93	93	91	83	87
Cisteína			87	87	72	64	72
Metionina			91	90	94	79	76
Prolina			91	90	92		81
Triptófano			99	86	72	66	69
<b>Proteína</b>			<b>92</b>	<b>91</b>		<b>66</b>	<b>78</b>

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>11</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/Ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Guisantes <sup>11</sup> Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Guisantes (cocidos) <sup>21</sup> Humanos <sup>P,PF</sup>	Guisantes (cocidos) <sup>21</sup> Humanos <sup>P,EHC</sup>	Guisantes (cocidos a 100°C por 4 min) <sup>14</sup> Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Guisantes (cocidos a 110°C por 15 min) <sup>11</sup> Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Guisantes (cocidos a 135°C por 15 min) <sup>11</sup> Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Guisantes (extruidos) <sup>1</sup> Humanos <sup>P,PF</sup>
Ácido aspártico	74	85	86	91	79	83	90
Treonina	67	86	91	89	76	82	89
Serina	73	85	87	93	80	85	91
Ácido Glutámico	80	93	96	95	85	89	93
Glicina	64	90	93	74	74	75	87
Alanina	76	80	86	92	82	88	85
Valina	72	85	89	91	80	86	87
Isoleucina	74	73	74	93	81	88	90
Leucina	75	81	82	93	81	89	91
Tirosina	69			93	74	84	93
Penilalanina	73	70	72	94	79	86	92
Histidina	69	72	74	95	77	83	93
Lisina	88	87	90	97	90	93	92
Arginina	84	94	96	94	87	92	93
Cisteína				87			86
Metionina		82	95	99			84
Prolina	61	100	100		75	74	91
Triptófano				89			87
Proteína		72	74	88			89

D Determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Guisantes, concentrado de proteína de <sup>1,4</sup>	Guisantes, globulinas de <sup>28Q</sup>	Guisantes, globulinas + albúminas de <sup>28Q</sup>	Guisantes, harina de <sup>21</sup>	Habas (cocidas) <sup>21</sup>	Habas (cocidas) <sup>21</sup>	Huevo (cocido) <sup>22</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>
Ácido aspártico	97				83	85	
Treonina	97				78	82	
Serina	100				83	87	
Ácido Glutámico	99				86	90	
Glicina	86				76	79	
Alanina	98				70	76	
Valina	97				74	76	
Isoleucina	99				65	71	
Leucina	98				77	82	
Tirosina	98						
Penilalanina	99				65	66	
Histidina	99				57	58	
Lisina	99				81	82	
Arginina	98				91	92	
Cisteína	98						
Metionina	100						
Prolina					73	77	
Triptófano	99				83	85	
Proteína	97	94	90	90	78	82	91

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Huevo (crudo) <sup>22</sup>	Idli (comida hindú) <sup>8</sup>	Judías (cocidas) <sup>21</sup>	Judías mungo (Dal, comida hindú) <sup>8</sup>			
	Humanos <sup>D,I</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico		85	70	72	87	90	80
Treonina		85	71	74	84	89	83
Serina		86	66	80	92	96	86
Ácido Glutámico		87	71	74	90	93	89
Glicina		55	64	66	93	95	54
Alanina		85	52	57	75	81	82
Valina		89	86	99	80	82	88
Isoleucina		87	62	63	75	76	85
Leucina		93	60	62	80	82	94
Tirosina		88					87
Penilalanina		90	70	71	84	85	93
Histidina		89	56	57	82	84	85
Lisina		91	72	74	92	94	94
Arginina		89	75	76	89	90	87
Cisteina		42	68	86			70
Metionina		54	100	100	77	79	93
Prolina		59	58	61	80	81	85
Triptófano	51	70	70	72			81
<b>Proteína</b>			71	74	82	83	

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5,52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>23</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5,44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad

...continuación

	Kiwis (Hayward) <sup>17</sup>	Kiwis (Hayward) <sup>17</sup>	Lactoalbúmina <sup>10</sup>	Leche <sup>2,5</sup>	Leche, aislado de proteína de <sup>10</sup>	Leche, concentrado de proteína de <sup>1</sup>	Leche, concentrado de proteína de <sup>14</sup>
	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>D,I</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico			90		96	91	96
Treonina			95		93	84	95
Serina			96		87	85	85
Ácido Glutámico			95		92	91	93
Glicina			92		91	90	68
Alanina			95		98	86	96
Valina			96		97	89	95
Isoleucina			95		95	90	92
Leucina			96		99	92	98
Tirosina			97		100	87	99
Penilalanina			97		100	91	100
Histidina			89		92	94	99
Lisina			95		98	93	99
Arginina			97		100	93	95
Cisteina			96		98	84	96
Metionina			99		100	87	95
Prolina							
Triptófano						89	97
<b>Proteína</b>	<b>55</b>	<b>62</b>		<b>96</b>		<b>89</b>	<b>92</b>

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52)

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad

...continuación

	Leche (desnatada en polvo) <sup>1,2,4,5</sup>	Leche (desnatada en polvo) <sup>10,11</sup>	Leche, (desnatada en polvo, cocida 151°C, 1 min) <sup>11</sup>	Leche, (desnatada en polvo, lactosa-hidrolizada) <sup>9</sup>	Leche (entera, en polvo) <sup>1,5</sup>	Leche (entera, en polvo) <sup>1</sup>	Leche (evaporada) <sup>9</sup>
	Humanos <sup>P,PF,WMI</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	92	93	94	96	92	95	91
Treonina	90	93	94	98	92	95	96
Serina	78	84	85	89	78	87	89
Ácido Glutámico	86	91	92	94	88	94	93
Glicina	87	76	72	87	93	72	76
Alanina	88	97	98	100	88	97	98
Valina	88	93	94	96	89	95	95
Isoleucina	87	89	91	93	87	92	92
Leucina	95	97	98	99	95	98	98
Tirosina	95	99	99	100	96	99	100
Penilalanina	97	99	100	100	96	100	100
Histidina	94	93	95	99	95	97	95
Lisina	96	96	88	99	91	99	97
Arginina	95	99	99	98	91	98	94
Cisteína	85	93			92		
Metionina	96	96			95		
Prolina	96	98	97		98	97	
Triptófano	89				93		
Proteína	88				89	95	

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WMI Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Leche (evaporada) <sup>14</sup>	Leche (pasteurizada UHT) <sup>9</sup>	Lentejas dal (comida hindú) <sup>8</sup>	Linaza <sup>5</sup>	Linaza extracto de <sup>5</sup>	Maíz <sup>1,2,3,4,5,19</sup>	Maíz <sup>14</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP,WM</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	84	98	91	75	73	81	92
Treonina	89	99	91	80	78	78	87
Serina	81	93	95	74	73	86	93
Ácido Glutámico	92	95	96	75	73	86	98
Glicina	69	84	67	75	73	77	63
Alanina	91	100	93	75	73	83	96
Valina	91	97	95	75	73	84	93
Isoleucina	88	96	95	74	73	84	96
Leucina	96	100	98	74	73	88	97
Tirosina	98	100	96	75	73	85	96
Penilalanina	99	100	97	74	73	86	96
Histidina	87	100	96	74	72	84	87
Lisina	97	100	97	82	79	75	97
Arginina	92	99	97	75	73	86	93
Cisteina			88	85	84	82	
Metionina			100	86	83	86	
Prolina	95		97	75	73	87	82
Triptófano			82	84	83	76	
Proteína			74	74	73	81	

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Maíz, harina de <sup>5</sup>	Maíz, harina de <sup>8</sup>	Maíz, pan de (roti, hindú) <sup>8</sup>	Maíz, salvado de <sup>5</sup>	Maní (tostado) <sup>14</sup>	Naan (pan asiático) <sup>8</sup>	Pan <sup>5</sup>
	Humanos <sup>P,PF</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>
Ácido aspártico	82	90	86	70	92	75	90
Treonina	76	84	82	66	89	87	91
Serina	87	93	90	78	94	91	93
Ácido Glutámico	91	96	93	77	95	96	93
Glicina	78	75	59	68	70	61	90
Alanina	89	95	93	78	94	90	92
Valina	85	94	90	77	93	89	91
Isoleucina	86	95	91	77	95	93	92
Leucina	92	98	96	81	95	97	93
Tirosina	91	95	94	80	95	90	93
Penilalanina	84	97	95	80	97	95	88
Histidina	84	94	88	80	97	93	92
Lisina	76	92	89	68	94	89	92
Arginina	84	91	89	88	95	92	93
Cisteína	79	85	77	69	93	93	87
Metionina	92	100	96	83	100		93
Prolina	73	94	89	75			91
Triptófano	78	84	77	69	84		90
Proteína	82			72	91		91

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Pan (grano entero) <sup>14</sup>	Pan, harina de <sup>14</sup>	Pan (Sirio simple) <sup>14</sup>	Patatas (deshidratadas) <sup>5</sup>	Patatas, concentrado de proteína de <sup>4</sup>	Patatas, concentrado de proteína de <sup>4</sup>	Patata frita (4-12 % de grasa) <sup>5</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>
Ácido aspártico	84			57	89		51
Treonina	89			62	89	84	52
Serina	93			56	87		51
Ácido Glutámico	97			56	85		50
Glicina	70			54	82		49
Alanina	89			58	84		53
Valina	92			58	87	86	52
Isoleucina	95			56	87	87	51
Leucina	95			56	90	90	52
Tirosina	95			58	87		49
Penilalanina	96			57	90	89	52
Histidina	88			53	87	85	47
Lisina	96	98	96	62	87	89	51
Arginina	91			57	91	92	54
Cisteina				54	76		52
Metionina				66	90	90	47
Prolina	97			56			53
Triptófano				47	73	78	47
Proteína				56	85	89	52

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Patata frita (12-18 % de grasa) <sup>5</sup>	Patata frita (> 18 % de grasa) <sup>5</sup>	Patata frita (tipo chips) <sup>5</sup>	Patata, peladuras de (al vapor, <35 % almidón) <sup>5</sup>	Patata, peladuras de (al vapor, <35-47.5 % almidón) <sup>5</sup>	Patata, peladuras de (al vapor, <47.5-60 % almidón) <sup>5</sup>	Patatas peladuras de (al vapor, >60 % almidón) <sup>5</sup>
	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>
Ácido aspártico	51	51	47	58	58	58	58
Treonina	52	48	47	62	62	63	61
Serina	51	49	44	58	56	59	56
Ácido Glutámico	51	51	45	57	57	57	57
Glicina	53	51	47	57	57	58	55
Alanina	52	52	48	57	58	58	58
Valina	52	51	47	58	58	57	58
Isoleucina	51	53	44	58	58	59	56
Leucina	50	50	47	58	58	57	59
Tirosina	53	51	47	57	56	57	58
Penilalanina	52	51	47	57	58	58	56
Histidina	47	51	42	57	61	58	59
Lisina	52	52	48	63	64	62	58
Arginina	51	49	49	57	58	58	58
Cisteína	52	52	47	49	50	47	51
Metionina	47	52	41	68	70	64	62
Prolina	51	49	44	57	57	58	56
Triptófano	47	47	47	51	47	47	52
Proteína	51	50	47	57	58	57	58

D Determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Patatas, proteína de (<1 % de cenizas) <sup>5</sup>	Patatas, proteína de (>1 de cenizas) <sup>5</sup>	Pescado (chino) <sup>21</sup>	Pescado (chino) <sup>21</sup>	Proteína monocelular <sup>21</sup>	Proteína monocelular <sup>21</sup>	Rajmah (comida hindú) <sup>8</sup>
	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,EHC</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	81	81	92	92	52	54	50
Treonina	84	84	94	95	51	53	61
Serina	85	85	93	96	57	59	64
Ácido Glutámico	86	86	93	94	59	62	74
Glicina	80	80	87	89	53	54	16
Alanina	85	85	90	92	49	52	66
Valina	86	86	89	90	55	56	68
Isoleucina	88	88	92	93	56	57	72
Leucina	90	90	90	91	58	59	76
Tirosina	90	89					74
Penilalanina	89	89	83	83	50	51	77
Histidina	85	85	84	85	63	64	68
Lisina	88	88	92	93	72	73	81
Arginina	91	91	81	81	73	74	79
Cisteína	74	74					33
Metionina	89	90	85	89	86	89	82
Prolina	93	93	90	91	62	64	72
Triptófano	78	78	92	92			50
Proteína	89	89	94	95	66	68	

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteína de alta digestibilidad.

...continuación

	Remolacha azucarera, melaza de <sup>5</sup>	Sambar (comida hindú) <sup>8</sup>	Semilla de girasol (descascarillada con expulsor, fibra <21 %) <sup>5</sup>	Semilla de girasol (descascarillada con expulsor, fibra 21-32.5 %) <sup>5</sup>	Semilla de girasol (extraída con solvente, fibra <16 %) <sup>5</sup>	Semilla de girasol (extraída con solvente, fibra 16-20 %) <sup>5</sup>
	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>
Ácido aspártico	93	77	79	79	79	79
Treonina	99	86	78	78	78	78
Serina	93	88	80	79	80	80
Ácido Glutámico	93	85	87	86	87	86
Glicina	93	54	71	71	70	70
Alanina	94	86	75	76	76	76
Valina	89	90	79	79	79	79
Isoleucina	93	88	81	81	80	81
Leucina	93	95	79	79	79	80
Tirosina	92	91	82	80	80	81
Penilalanina	99	82	81	80	81	80
Histidina	99	91	80	80	79	80
Lisina	99	93	77	77	77	77
Arginina	99	91	91	91	91	91
Cisteina	99	79	75	75	75	76
Metionina	99	98	87	86	87	87
Prolina	87	94	84	84	85	85
Triptófano	99	70	81	80	81	79
Proteína	94		78	78	78	78

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>10</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Semilla de girasol (extraída con solvente, fibra 20-24 %) <sup>5</sup>	Semilla de girasol (extraída con solvente, fibra >24 %) <sup>5</sup>	Sésamo, harina de <sup>2,4</sup>	Soja, aislado de proteína de <sup>7</sup>	Soja, aislado de proteína de <sup>10,14</sup>	Soja, aislado de proteína de <sup>27,0</sup>
	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	79	79		94	97	95
Treonina	77	78	83	98	94	
Serina	80	80	87	98	98	
Ácido Glutámico	87	86		99	98	
Glicina	71	70	84	95	85	
Alanina	76	76		97	95	
Valina	79	79	87	97	96	
Isoleucina	81	81	87	97	97	
Leucina	79	79	88	97	96	
Tirosina	82	81	90	99	98	
Penilalanina	80	81	90	98	97	
Histidina	80	81	87	99	97	
Lisina	77	77	82	99	99	
Arginina	90	91	89	99	99	
Cisteína	75	74	91	97	95	
Metionina	85	85	86	98	98	
Prolina	84	85		98		
Triptófano	80	83	82		95	
Proteína	79	79	86	98	95	92

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WMI Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteína de alta digestibilidad.

...continuación

	Soja, concentrado de proteína de <sup>7</sup>	Soja, concentrado de proteína de <sup>10</sup>	Soja, proteína de <sup>10</sup>	Soja (grano cocido) <sup>21</sup>	Sorgo <sup>1,4,5</sup>	Suero (ácido, deshidratado) <sup>1</sup>	Suero, aislado de proteína de <sup>10</sup>	Suero, concentrado de proteína de <sup>7</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Humanos <sup>P,PF,WM</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>
Ácido aspártico	97			84	81	72	99	98
Treonina	97	94		81	84	68	100	93
Serina	97	98		86	84	58	100	93
Ácido Glutámico	98	98		87	88	79	99	98
Glicina	96	91		81	71	51	97	98
Alanina	97	95		73	81	53	100	97
Valina	97	95		78	86	66	100	98
Isoleucina	97	96		73	87	78	100	99
Leucina	97	96		80	88	75	100	99
Tirosina	99	98			85	76	100	99
Penilalanina	97	97		80	89	80	100	99
Histidina	97	91		76	81	78	100	89
Lisina	98	97		80	79	81	100	97
Arginina	100	100		90	85	48	98	99
Cisteina	91	87			78	63	100	99
Metionina	96	95		72	87	72	100	99
Prolina	96			71	69	76		95
Triptófano					87	77	100	
<b>Proteína</b>	<b>97</b>			<b>68</b>	<b>83</b>	<b>68</b>	<b>99</b>	<b>97</b>

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad

...continuación

	Suero, concentrado de proteína de <sup>9,10,14</sup>	Suero de queso (CP < 17.5 %) <sup>5</sup>	Suero de queso (CP 17.5 – 27.5 %) <sup>5</sup>	Suero de queso (CP > 27.5 %) <sup>5</sup>	Suero (en polvo) <sup>5</sup>	Suero (en polvo, bajo en lactosa, cenizas <21 %) <sup>5</sup>	Suero (en polvo, bajo en lactosa, cenizas >21 %) <sup>5</sup>
	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>
Ácido aspártico	97	95	88	89	88	91	90
Treonina	94	98	88	88	89	91	91
Serina	95	96	88	88	88	91	90
Ácido Glutámico	97	91	88	88	88	90	90
Glicina	89	80	87	88	87	91	89
Alanina	98	99	89	88	88	91	90
Valina	97	100	88	89	88	91	91
Isoleucina	98	98	87	88	89	90	90
Leucina	99	100	88	88	88	91	90
Tirosina	100	100	90	88	89	90	91
Penilalanina	100	98	89	88	87	90	90
Histidina	96	100	90	87	90	90	91
Lisina	99	97	90	91	91	93	92
Arginina	96	99	87	87	89	90	91
Cisteína	100		89	91	91	92	94
Metionina	99	97	89	89	89	93	92
Prolina		97	89	88	87	90	90
Triptófano	100		84	85	87	90	89
<b>Proteína</b>	<b>95</b>		<b>89</b>	<b>88</b>	<b>89</b>	<b>91</b>	<b>91</b>

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteína de alta digestibilidad.

...continuación

	Suero (en polvo, parcialmente deslactosado) <sup>4</sup>	Suero, hidrolizado de proteína de <sup>10</sup>	Suplemento alto en proteína para deportistas <sup>5</sup>	Titricale <sup>1,2,4,5</sup>	Trigo <sup>1,2,3,4,5,19</sup>	Trigo <sup>14</sup>	Trigo, galleta de harina de <sup>26</sup>
	Humanos <sup>P,WM</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP,WM</sup>	Humanos <sup>P,FP,WM</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>D-I</sup>
Ácido aspártico		86	95	83	83	81	
Treonina	92	93	96	78	83	86	
Serina		94	92	87	88	90	
Ácido Glutámico		86	94	93	94	96	
Glicina		92	70	82	85	73	
Alanina		95	99	79	80	87	
Valina	87	96	95	85	85	89	
Isoleucina	87	96	94	86	88	92	
Leucina	89	96	98	86	88	92	
Tirosina		97	100	87	87	91	
Penilalanina	96	97	99	87	89	93	
Histidina	92	90	98	86	88	86	
Lisina	92	94	100	82	80	94	
Arginina	96	97	95	88	87	88	
Cisteína		94		88	88		
Metionina	90	80		88	88		
Prolina				92	96	95	
Triptófano	90			82	88		
Proteína	91			84	87		90

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>25</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteica de alta digestibilidad.

...continuación

	Trigo, germen de <sup>1,5</sup>	Trigo, gluten de <sup>3,4,5</sup>	Trigo, harina de <sup>8</sup>	Trigo, harina de <sup>8</sup>	Trigo, harina de <sup>8</sup>	Trigo, harina de (fibra <3.5%) <sup>5</sup>	Trigo, harina de (fibra 3.5-5.5%) <sup>5</sup>	Trigo, harina refinada de <sup>8</sup>
	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP,WM</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Humanos <sup>P,FP</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico	81	84	87	88	87	87	82	80
Treonina	81	91	89	92	89	86	80	86
Serina	84	94	94	98	94	93	86	96
Ácido Glutámico	90	98	96	99	96	94	91	98
Glicina	81	91	92	90	92	88	82	78
Alanina	81	86	84	93	84	87	80	91
Valina	83	95	90	96	90	90	84	94
Isoleucina	84	96	92	98	92	90	84	96
Leucina	85	96	94	99	94	91	86	99
Tirosina	86	95	94	97	94	92	87	95
Penilalanina	86	96	95	98	95	89	84	97
Histidina	87	99	95	99	95	91	86	97
Lisina	83	86	89	94	89	87	82	93
Arginina	89	94	95	93	95	92	90	88
Cisteína	82	96	93	94	93	86	83	92
Metionina	87	94	93	100	93	90	86	99
Prolina	84	96	96	100	96	93	91	99
Triptófano	82	90	91	91	91	89	84	83
<b>Proteína</b>	<b>83</b>	<b>95</b>	<b>92</b>		<b>92</b>	<b>89</b>	<b>83</b>	

D determinado.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44).

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de

EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta

proteína de alta digestibilidad.

...continuación

	Trigo, harina de (7 % CF) <sup>4</sup>	Trigo, salvado de <sup>1,2,3,4,5</sup>	Trigo, pan de (roti hindú) <sup>8</sup>
	Humanos <sup>P,WM</sup>	Humanos <sup>P,PF</sup>	Ratas <sup>D,EHC,RL</sup>
Ácido aspártico		67	84
Treonina	71	67	88
Serina		76	93
Ácido Glutámico		84	97
Glicina		68	71
Alanina		61	89
Valina	79	72	91
Isoleucina	77	73	95
Leucina	78	76	98
Tirosina		77	91
Penilalanina	82	75	95
Histidina	82	80	93
Lisina	76	70	91
Arginina	90	86	89
Cisteína		74	74
Metionina	80	77	89
Prolina		82	85
Triptófano	79	71	
Proteína	75	71	

P Obtenido por predicción a partir de los datos de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos en cerdo basados en la ecuación de Deglaire y Moughan<sup>28</sup>.

D determinado.

PF Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la dieta libre de proteína.

EHC Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas utilizando el método de ultrafiltración de la caseína hidrolizada enzimáticamente.

HDP Pérdidas de aminoácidos endógenos determinadas usando el método de la proteína altamente digestible.

WM Media ajustada basada en las pérdidas de aminoácidos endógenos determinados por una dieta libre de proteínas, métodos de EHC/ultrafiltración, regresión, dieta libre de proteínas + infusión parenteral de aminoácidos y dieta proteica de alta digestibilidad.

RL Digestibilidad de la lisina basada en la digestibilidad de la lisina reactiva.

DM Datos presentados sobre la base de la materia seca.

I Digestibilidad determinada utilizando técnicas de isótopos estables.

O Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.52).

Q Unidades expresadas como mg/g de proteína (N x 5.44)



## Referencias del Apéndice 1

---

**Deglaire, A., Bos, C., Tomé, D. y Moughan, P.J.** (2009) *Ileal digestibility of dietary protein in the growing pig and adult human. British Journal of Nutrition.* 102, 1752-1759.

**Moughan, P.J. y Rutherfurd, S.M.** (1996) *A new method for determining digestible reactive lysine in foods. Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 44, 2202-2209.

## Referencias de la Tabla

---

1. **AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF** (2000) AmiPig, Ileal Standardised digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs.
2. **Rhodimet™ Nutrition Guide.** (1993) Feed ingredients formulation with digestible amino acids. Second edition. Rhône Poulenc Animal Nutrition.
3. **Rhône Poulenc Nutrition Guide.** (1989) Feed formulation with digestible amino acids. First edition. Rhône Poulenc Animal Nutrition.
4. **Degussa** (1996) The amino acid composition of feedstuffs. (Fickler, J., Fontaine, J. and Heimbeck, W. Eds). Degussa-Hüls AG, Feed Additives Division. Frankfurt, Germany and Degussa-Hüls (1999) Standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. (M. Rademacher, Sauer, W.C. and Jansman, A.J.M. Eds). Degussa-Hüls AG, Feed Additives Division. Frankfurt, Germany.
5. **CVB Feed Tables** (2007) Chemical compositions and nutritional values of feed ingredients. Product Board Animal Feed, CVB, The Hague.
6. **Han, J-H., Yang, Y-X., Men, J-H., Bian, L-H. and Guo, J.** (2006) Comparison of ileal digested production of parental rice and rice genetically modified with cowpeas trypsin inhibitor. *Biomedical and Environmental Sciences.* 19, 42-46.
7. **Moughan, P.J., Butts, C.A., van Wijk, H., Rowan, A.M. and Reynolds, G.W.** (2005) An acute ileal amino acid digestibility assay is a valid procedure for use in human ileostomates. *Journal of Nutrition* 135, 404-409.
8. **Rutherfurd, S.M., Bains, K. and Moughan P.J.** (2012). Proteinaceous foods of India and the supply of available lysine. *British Journal of Nutrition.* 108, S59-S68.
9. **Rutherfurd, S.M. and Moughan, P.J.** (2005) Digestible reactive lysine in selected milk-based products. *Journal of Dairy Science.* 88, 40-48.
10. **Rutherfurd, S.M. and Moughan, P.J.** (1998) The digestible amino acid composition of several milk proteins: Application of a new bioassay. *Journal of Dairy Science.* 81, 909-917.

11. **Rutherford, S.M. and Moughan, P.J.** (1997) Application of a new method for determining digestible reactive lysine to variably heated protein sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 1582-1586.
12. **Gausserès, N., Mahé, S. and Benamouzig, R.** (1997) [<sup>15</sup>N]-labeled pea flour protein nitrogen exhibits good ileal digestibility and postprandial retention in humans. *Journal of Nutrition*. 127, 1160-1165.
13. **Rutherford, S.M., Torbatinejad, N.M. and Moughan, P.J.** (2006a) Available (ileal digestible reactive) lysine in selected cereal-based food products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, 9453-9457.
14. **Rutherford, S.M., Darragh, A.J., Hendriks, W.H., Prosser, C.G. and Lowry, D.** (2006b) True ileal amino acid digestibility of goat and cow milk infant formulas. *Journal of Dairy Science*. 89, 2408-2413.
15. **Awati, A., Rutherford, S.M., Kies, A.K., Veyry, A. and Moughan, P.J.** (2009) Endogenous lysine in ileal digesta in the growing rat determined using different methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89, 2200-2206.
16. **Henare, S.J., Rutherford, S.M., Drummond, L.N., Borges, V., Boland, M.J., Moughan, P.J.** (2012) Digestible nutrients and available (ATP) energy contents of two varieties of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* and *Actinidia chinensis*). *Food Chemistry*. 130, 67-72.
17. **Furuya, S. and Kaji, Y.** (1991). Additively of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets from growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 32, 321-331.
18. **Stein, H.H., Kim, S.W., Nielsen, T.T. and Easter, R.A.** (2001). Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. *Journal of Animal Science*. 79, 2113-2122.
19. **Rubio, L.A.** (2005) Ileal digestibility of raw and autoclaved kidney-bean (*Phaseolus vulgaris*) seed meals in cannulated pigs. *Animal Science*. 81, 125-133.
20. **Yin, Y-L., Li, T-J., Huang, R-L., Liu, Z-Q., Kong, X-F., Chu, W-Y., Tan, B-E. Deng, D., Kang, P. and Yin, F-G.** (2008) Evaluating standardized ileal digestibility of amino acids in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 140, 385-401.
21. **Evenepoel, P., Geysens, B., Luypaerts, A., Hiele, M. and Ghooos, Y.** (1998) Digestibility of cooked and raw egg protein in humans as assessed by stable isotope techniques. *Journal of Nutrition*. 128, 1716-1722.
22. **Deglaire, A., Bos, C., Tomé, D. and Moughan, P. J.** (2009) Ileal digestibility of dietary protein in the growing pig and adult human. *British Journal of Nutrition*. 102, 1752-1759.
23. **Bos, C., Airinei, G., Mariotti, F., Benamouzig, R., Bérot, S., Evrard, J., Fénart, E., Tomé, D. and Gaudichon, C.** (2007) The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans. *Journal of Nutrition*. 137, 594-600.

24. **Bos, C., Mahé, S., Gaudichon, C., Benamouzig, R., Gausserès, N., Luengo, C., Ferrière, F., Rautureau, J. and Tomé, D.** (1999). Assessment of net postprandial protein utilisation of <sup>15</sup>N- labelled milk nitrogen in human subjects. *British Journal of Nutrition*. 81,221-226.
25. **Bos, C., Juillet, B., Fouillet, H., Turlan, L., Daré, S., Luengo, C., N'tounda, R., Benamouzig, R., Gausserès, N., Tomé, D. and Gaudichon, C.** (2005) Postprandial metabolic utilization of wheat proteins in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81, 87-94.
26. **Mariotti, F., Pueyo, M.E., Tomé, D. and Mahé, S.** (2002) The bioavailability and postprandial utilisation of sweet lupin (*Lupinus albus*)-flour protein is similar to that of purified soyabean protein in human subjects: a study using intrinsically labelled proteins. *British Journal of Nutrition*. 87, 315-323.
27. **Mariotti, F., Pueyo, M.E., Tomé, D., Bérot, S., Benamouzig, R. and Mahé, S.** (2001) The influence of the albumin fraction on the bioavailability and postprandial utilization of pea protein given selectively to humans. *Journal of Nutrition*. 131,1706-1713.
28. **Deglaire, A. y Moughan, P.J.** (2012) *Animal models for determining amino acid digestibility in humans – a review*. *British Journal of Nutrition*. 108,S273- S281.



**Informe del Sub-Comité de la Consulta FAO 2011  
sobre “Evaluación de la Calidad de las Proteínas en  
Nutrición Humana” sobre:**

**Valoración de una serie de datos sobre la  
digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos de  
alimentos para humanos (preparada por un Sub-  
Comité presidido por el Dr. Sarwar Gilani), incluyendo  
la valoración de su disponibilidad para su aplicación  
práctica en el cálculo de los valores de los DIAAS y las  
implicaciones de estos datos en el informe final de la  
Consulta.**

**Miembros del Sub-Comité:**

Ricardo Uauy (presidente), Joe Millward, Paul Pencharz,  
Malcolm Fuller y Barbara Burlingame (*ex officio*)

NOTA: los temas expresados en este informe son los del Sub-Comité y no reflejan necesariamente las opiniones (o un consenso) de los miembros de la Consulta de Expertos. El informe es una parte integral del proceso, para conseguir un consenso global, expresado en el informe final de la Consulta de Expertos FAO 2011.



**La declaración consensuada siguiente fue recibida por el Sub-Comité presidido por el Dr. Sarwar Gilani<sup>1</sup>:**

1. Acuerdo sobre el concepto de que la digestibilidad ileal es preferible en principio, a la digestibilidad fecal a fin de definir la digestibilidad de los aminoácidos indispensables y de evaluar la calidad de las proteínas de la dieta para los humanos.
2. Reconocimiento de que hay una amplia evidencia sobre la digestibilidad ileal de los aminoácidos en ratas y cerdos, pero que los datos sobre dicha digestibilidad en humanos son muy limitados; de hecho, muy pocos estudios comparan la digestibilidad de los aminoácidos procedentes de las mismas fuentes proteicas en animales (ratas, cerdos) y humanos. Estos estudios son muy necesarios como base para apoyar el cambio hacia la estimación de la digestibilidad ileal en la valoración de la digestibilidad de la proteína en humanos.
3. Los estudios futuros deberían incluir comparaciones de los valores de digestibilidad entre los diferentes modelos utilizando fuentes proteicas que fueran representativas de las consumidas por las poblaciones humanas.
4. Si los datos obtenidos a partir de estos estudios (tal como se especifica en el punto 3 anterior) apoyaran de manera convincente el cambio a la evaluación de la digestibilidad ileal, se debería valorar el impacto potencial de esta recomendación para su uso en la evaluación de las fuentes proteicas individuales, así como en la evaluación de las dietas mixtas consumidas habitualmente por los humanos, antes de implementar el nuevo modelo de evaluación. Esto debería incluir ganancias y pérdidas potenciales en la salud pública derivadas de la implementación de las nuevas recomendaciones para la valoración de la calidad de la proteína en humanos.

R Uauy  
Presidente del Sub-Comité

Abril, 2012

<sup>1</sup> Se adjuntan notas adicionales procedentes del Sub-Comité presidido por R Uauy que fueron recibidas en respuesta al informe inicial del Sub-Comité presidido por S. Gilani. Tenga en cuenta que, subsiguientemente al informe inicial, el Sub-Comité presidido por Sr Gilani presentó un informe revisado, tras tener en cuenta los comentarios del Sub-Comité presidido por R Uauy e incluir datos adicionales. La declaración consensuada presentada más arriba se realiza en respuesta al segundo y último informe del Sub-Comité presidido por S Gilani (referencia: [www.fao.org](http://www.fao.org)).

## **-Notas del Sub-Comité presidido por el Dr. R. Uauy-**

### **Conclusiones alcanzadas por los miembros del Sub-Comité**

Se pidió a los miembros del panel de revisión que contestaran a cada una de las preguntas siguientes:

- a) **¿Hemos confeccionado un buen argumento para cambiar de la digestibilidad fecal a la ileal?**
- b) **¿Disponemos de datos actualizados para satisfacer los mejores estándares? ¿y son relevantes también para los humanos, en relación a la digestibilidad ileal, para apoyar el cambio desde la digestibilidad fecal a la ileal? (no se trata del concepto sino del uso real de los datos).**
- c) **¿Han examinado completamente los expertos las implicaciones que esto puede tener en relación a la evaluación de la calidad de las proteínas en individuos y poblaciones?**
- d) **¿Cuál será el impacto (positivo y negativo) (deseado y no deseado) sobre la salud pública y si hay más que ganar que perder en el cambio?**
- e) **¿Se ha realizado la revisión con total independencia de los intereses personales y de cualquier interés externo al definir las contestaciones a las cuestiones planteadas?**

Las respuestas consensuadas de los miembros a las cuestiones planteadas fueron:

- a) **¿Hemos confeccionado un buen argumento para cambiar de la digestibilidad fecal a la ileal?**

El argumento científico para usar la digestibilidad ileal es firme pero se deriva casi exclusivamente de trabajos con animales. Los datos para los humanos alcanzan solamente a unas pocas observaciones que abarcan un intervalo limitado de digestibilidad.

Teóricamente “sí”, pero si nos basamos en los datos disponibles, “no” en el caso de los humanos, debido a la naturaleza y a las limitaciones de los datos presentados. Esta es la razón por la que echamos en falta los datos del grupo de Daniel Tomé.<sup>1</sup>

Los datos derivan principalmente de estudios en animales, no se han presentado datos sólidos que puedan extrapolarse a humanos y se necesita analizar dietas humanas variadas entre sistemas antes de apoyar un cambio.

<sup>1</sup> Subsiguiente, se preparó un informe revisado que tomaba en cuenta los comentarios del Sub-Comité presidido por el Dr. Uauy (referencia [www.fao.org](http://www.fao.org)), y se presentaron datos adicionales por el Sub-Comité presidido por S Gilani, incluyendo más información procedente del grupo francés.

Adicionalmente, consideramos que las medidas de “digestibilidad”, sean fecales o sean ileales, no reflejan apropiadamente la disponibilidad metabólica de las proteínas de la dieta (es lo que ocurre, por ejemplo, en la reacción de Maillard)

**b) ¿Disponemos de datos actualizados para satisfacer los mejores estándares? ¿y son relevantes también para los humanos, en relación a la digestibilidad ileal, para apoyar el cambio desde la digestibilidad fecal a la ileal? (no se trata del concepto sino del uso real de los datos)**

No, no suficientes.

Antes de que se ponga en práctica un sistema basado en la digestibilidad ileal de los aminoácidos, las escasas observaciones directas de la digestibilidad de los aminoácidos indispensables en humanos, deben complementarse con una gran cantidad de valores obtenidos de la predicción de los datos hallados en cerdos y ratas. La única ecuación de regresión que parece disponible actualmente para la predicción de los valores en humanos a partir de los valores en cerdo, no permite generar predicciones potentes. No se han presentado ecuaciones de predicción comparables para generar estimaciones de la digestibilidad de los aminoácidos indispensables en humanos a partir de los datos obtenidos en rata.

**c) ¿Han examinado completamente los expertos las implicaciones que esto puede tener en relación a la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta de individuos y poblaciones?**

Creemos que no. Dada la escasez de datos, sería probablemente un ejercicio especulativo. Las implicaciones de los cambios propuestos no se han evaluado claramente. Esto es particularmente relevante a la luz de las experiencias pasadas con proteínas, donde los datos obtenidos a partir de modelos animales erróneos fueron usados para su extrapolación a las poblaciones humanas.

**d) ¿Cuál será el impacto (positivo y negativo) (deseado y no deseado) sobre la salud pública? ¿y si hay más que ganar que perder en el cambio?**

No somos conscientes de que esto haya sido examinado. Teniendo en cuenta que los datos sobre la digestibilidad ileal son muy limitados, consideramos que es demasiado pronto para hacer un cambio. Para una organización como la FAO, que representa al mundo entero, un cambio puede generar confusión. Antes de realizar este cambio se necesita disponer de datos suficientes sobre las comparaciones entre las especies animales y los humanos.

**e) ¿Se ha realizado la revisión con total independencia de los intereses personales y de cualquier interés externo al definir las contestaciones a las cuestiones planteadas?**

Todos los miembros respondieron que sí.



# Anexo:

## Lista de participantes de la versión en español

---

### Coordinación General

**Prof. Ángel Gil Hernández**

Presidente de la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT);  
Departamento de Bioquímica y Biología Molecular II, Instituto de  
Nutrición y Tecnología de los Alimentos, Centro de Investigación  
Biomédica, Universidad de Granada, Granada, España

### Traducción

**Prof. Fermín Sánchez de Medina Contreras**

Departamento de Bioquímica y Biología Molecular II, Facultad de  
Farmacia, Universidad de Granada, Granada, España

**María José Soto-Méndez, Ph.D.**

Coordinadora Científica de la Fundación Iberoamericana de  
Nutrición (FINUT), Armilla, Granada, España

### Revisión

**Prof. Ángel Gil Hernández**

Presidente de la Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT);  
Departamento de Bioquímica y Biología Molecular II, Instituto de  
Nutrición y Tecnología de los Alimentos, Centro de Investigación  
Biomédica, Universidad de Granada, Granada, España

**Ángela Hernández Ruiz, MSc.**

Área de desarrollo de proyectos de la Fundación Iberoamericana  
de Nutrición (FINUT), Armilla, Granada, España

**María José Soto-Méndez, Ph.D.**

Coordinadora Científica de la Fundación Iberoamericana de  
Nutrición (FINUT), Armilla, Granada, España





Las proteínas son suministradas por ingredientes de los alimentos, alimentos completos, alimentos como única fuente y dietas mixtas. El equilibrio entre el suministro dietético y las necesidades de proteínas en los humanos es vital como soporte para la salud y el bienestar de las poblaciones humanas. Desde 1989 se ha utilizado ampliamente el método de la Puntuación de los Aminoácidos Corregida por la Digestibilidad de la Proteína (PDCAAS) (para la evaluación de la calidad de la proteína. Sin embargo, se han reconocido limitaciones a este método; y los hallazgos de nuevas investigaciones han llevado a revisar la adecuación de la PDCAAS y su aplicación en relación a otros métodos para la estimación de la calidad de la proteína de la dieta. Este informe de la Consulta de Expertos de la FAO sobre la Evaluación de la Calidad de la Proteína en Nutrición Humana, celebrado en Auckland, Nueva Zelanda, desde el 31 de marzo al 2 de abril de 2011, estudia la eficacia y los problemas relacionados con el método de los PDCAAS para la evaluación de la calidad de la proteína; y proporciona justificaciones y recomendaciones en relación a este método. Se recomienda un nuevo método de evaluación de la calidad de la proteína denominado Puntuación de Aminoácidos Indispensables Digestibles (DIAAS) para su aplicación práctica.

Tras la Consulta de Expertos de la FAO de 2011 sobre la evaluación de la calidad de las proteínas de la dieta en la nutrición humana, se convocó a un grupo de trabajo en Bangalore, India del 2 al 5 de marzo de 2014 para explorar y desarrollar medios para producir más datos accesibles a nivel mundial de la digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos de alimentos para humanos; especialmente para alimentos consumidos en países de bajos ingresos. La escasez de datos, especialmente de los estudios en humanos, sigue siendo un obstáculo para la implementación práctica de un nuevo sistema para evaluar la calidad de las proteínas. El informe considera protocolos que incluyen las mejores prácticas recomendadas para los ensayos basados en cerdos, ratas y seres humanos para las determinaciones de digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos para apoyar la generación de nuevos datos. El grupo de trabajo consideró el desarrollo de protocolos que permitirían mediciones no-invasivas de la digestibilidad ileal de aminoácidos en humanos basándose, principalmente, en nuevos enfoques utilizando como marcadores, isótopos estable, mínimamente invasivos.. Este ejercicio necesitaría involucrar la determinación de la digestibilidad ileal verdadera de proteínas tanto en humanos como en modelos animales para permitir el desarrollo de relaciones robustas de predicción de digestibilidad entre especies.