

GRASA LÁCTEA: UNA MIRADA NUTRICIONAL Y TECNOLÓGICA

Miguel Ángel Rincón C.¹ y Sandra López A.²

¹Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos,
Universidad de Chile, Santiago, Chile.

²Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina,
Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Resumen

La grasa láctea corresponde a la fracción lipídica de la leche y es un componente ampliamente estudiado por su relevancia desde el punto de vista nutricional y tecnológico. Es una fuente de ácidos grasos nutricionalmente relevantes y, en menor medida, de fosfolípidos y colesterol. Desde el punto de vista tecnológico, la grasa láctea es una fracción interesante cuya composición puede ser modificada para dotar a la leche o al derivado lácteo de un matiz “funcional”, a través de la incorporación de determinados ingredientes bioactivos. En este capítulo se revisará la evidencia reciente sobre los efectos de la grasa láctea en la salud humana y algunos de los desarrollos tecnológicos disponibles para modificar su estructura y composición con vistas a la elaboración de productos alimenticios potencialmente funcionales. En el contexto de una dieta equilibrada, el consumo de leche entera y sus derivados no supone un riesgo para la salud humana y puede aportar beneficios potenciales, aunque es necesario continuar realizando más investigación para confirmar este último punto. Por otro lado, se ha comprobado que la composición y calidad de la dieta tiene la capacidad de modificar el perfil de ácidos grasos de la grasa láctea, pudiendo incrementar la concentración de compuestos tales como el ácido linoleico conjugado o los ácidos grasos poliinsaturados n-3 (omega-3). Además, los fosfolípidos de la grasa láctea pueden usarse en la elaboración de liposomas cuya función es encapsular compuestos bioactivos de interés para su incorporación en matrices alimentarias y así incrementar su funcionalidad.

Palabras claves:

Grasa láctea, ácidos grasos, fosfolípidos, liposomas, compuestos bioactivos.

1. Introducción

La grasa láctea es la fracción lipídica de la leche y su composición y abundancia es variable en función del animal del que procede. Las leches de vaca y cabra contienen entre un 3 y un 7% de grasa láctea, mientras que la de oveja puede alcanzar un 9% [1]; la de camella hasta un

6,4%; y la de burra hasta un 1,8% [2,3]. No obstante, lo más común es encontrar valores de entre un 3 y un 4% de grasa láctea en leche entera.

Los lípidos que conforman la grasa láctea son principalmente triglicéridos ($\geq 98\%$), además de otros componentes minoritarios como diglicéridos ($< 1\%$), monoglicéridos y fosfolípidos ($< 1\%$), y colesterol y ácidos grasos libres ($< 0,5\%$) [1]. La

grasa láctea se encuentra en la leche formando pequeños glóbulos de hasta 20 μm de diámetro emulsificados en la fase acuosa. Estos glóbulos están formados por un núcleo de lípidos no polares (triglicéridos) y una membrana globular formada por lípidos polares (principalmente fosfolípidos) [4]. El grosor de esta membrana es de entre 10 y 50 nm y su función es proteger a los triglicéridos del núcleo de los procesos de lipólisis y degradación oxidativa [1,5]. Los principales tipos de fosfolípidos en grasa láctea son la fosfatidilcolina, la fosfatidiletanolamina y la esfingomielina [1].

La grasa láctea presenta un perfil de ácidos grasos particular, ya que encontramos ácidos grasos saturados, ramificados, ácidos grasos *trans* y ácidos grasos conjugados, además de ciertos ácidos grasos de cadena corta como el ácido butírico (**Figura 1**). La grasa láctea es casi exclusivamente la fuente alimentaria de al-

gunos de estos ácidos grasos, a los que se les han atribuido beneficios potenciales para la salud humana [1,5,6]. En la (**Tabla 1**) se presenta la composición de ácidos grasos de distintos tipos de leche [7-9], aunque estos datos deben considerarse orientativos, ya que existen determinados factores que impactan sobre la composición de ácidos grasos en la grasa láctea y hacen que esta varíe en rangos más o menos amplios, tales como la composición de la dieta de los animales, la raza, factores ambientales o la etapa de lactancia, entre otros [7].

El objetivo de este capítulo es, por una parte, describir aspectos químicos y biológicos de los principales componentes de la grasa láctea y, por otra, mencionar procesos tecnológicos para modificar la composición de la grasa láctea a fin de incorporar ácidos grasos y compuestos bioactivos de interés para la salud humana.

GRASA LÁCTEA	Compuestos mayoritarios ($\geq 98\%$): Triglicéridos	Compuestos minoritarios ($\leq 2\%$): Diglicéridos, monoglicéridos, fosfolípidos, ácidos grasos libres, colesterol
<p>Ácido linoleico conjugado: Se encuentra de forma natural en grasa láctea de ruminantes (biohidrogenación del rumen). Se le atribuyen efectos beneficiosos, pero la mayoría de la evidencia procede de ensayos en animales, mientras que en humanos la evidencia no es consistente.</p>	<p>Ácido butírico: Acción antiinflamatoria, antioxidante y anticancerígena. Favorece la proliferación de bacterias esenciales para la fisiología de los colonocitos. Es hidrolizado fácilmente por las lipasas lingual y gástrica, y es transportado al hígado para producir energía.</p>	
<p>Ácidos grasos saturados: A pesar de los aspectos negativos para la salud asociados a los ácidos grasos saturados, hasta el momento no se ha observado un aumento del riesgo de enfermedad cardiovascular asociado al consumo de leche entera en el contexto de una dieta equilibrada en individuos sanos.</p>	<p>Ácidos grasos de cadena impar y/o ramificados: Ácidos grasos minoritarios pero significativos en la grasa láctea de ruminantes. Se les atribuye actividad anticancerígena y efectos protectores del enterocito. Una ingesta moderada de ácidos fitánico y pristánico podría ejercer un efecto protector frente al síndrome metabólico, diabetes tipo 2 y ciertos tipos de cáncer.</p>	
<p>Fosfolípidos: Se localizan en la membrana de los glóbulos grasos de la leche. Son fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol, fosfatidil-serina y esfingomielina. Pueden modular procesos inflamatorios y ejercen actividad preventiva sobre algunos tipos de cáncer, pueden inhibir la absorción intestinal del colesterol y tienen un efecto neuroprotector. En leche de vaca, cabra y oveja, el contenido de fosfolípidos se sitúa entre 20 y 40 mg por 100 mL de leche.</p>	<p>Ácidos grasos "trans" de origen natural: Están presentes de forma natural en la grasa láctea debido a la hidrogenación parcial de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen. A diferencia de los ácidos grasos "trans" de origen industrial, no se han reportado efectos perjudiciales debido a AGT presentes naturalmente en los alimentos, ya que su consumo es en general reducido (no superan el 5% del total de AG de la grasa láctea) en el marco de una dieta equilibrada.</p>	

Figura 1. Cuadro resumen acerca de los componentes principales de la grasa láctea en leche de ruminantes.

Ácidos grasos	Vaca ^[9]	Oveja ^[9]	Cabra ^[9]	Búfala ^[8]	Burra ^[7]
C4:0	3,1	3,5	2,2	2,8	0,2
C6:0	1,9	2,9	2,4	1,9	0,1
C8:0	1,2	2,6	2,7	1,1	3,5
C10:0	2,5	7,8	10,0	1,8	10,2
C12:0	3,0	4,4	5,0	2,3	10,8
C14:0	10,4	10,4	9,8	11,8	8,2
C15:0	1,1	1,0	0,7	1,7	0,2
iso C15:0	0,3	0,3	0,1	n.i.	n.d.
anteiso C15:0	0,5	0,5	0,2	n.i.	n.d.
C16:0	28,5	25,9	28,2	36,0	22,6
iso C16:0	0,2	0,2	0,2	n.i.	n.d.
C17:0	0,7	0,6	0,7	0,8	0,1
iso C17:0	0,6	0,5	0,4	n.i.	n.d.
anteiso C17:0	0,5	0,3	0,4	n.i.	n.d.
C18:0	10,5	9,6	8,9	9,9	0,7
Total AGS	65,0	70,5	71,9	70,1	56,6
cis C14:1	1,1	0,3	0,2	0,7	0,1
cis C16:1	1,7	1,0	1,6	1,9	2,9
cis C18:1	20,5	18,2	19,3	20,3	24,3
trans C18:1	4,3	2,9	2,1	2,7	n.d.
Total AGMI	27,6	22,4	23,2	25,6	27,3
C18:2 n-6	3,1	2,3	3,2	0,9	11,9
C18:3 n-3	0,6	0,6	0,4	0,7	2,2
CLA	1,0	0,7	0,7	0,9	n.d.
Total AGPI	4,7	3,6	4,3	2,5	14,1
Otros ácidos grasos	1,7	2,8	0,0	0,9	2,0

Tabla 1. Composición de ácidos grasos orientativo en distintos tipos de leche (en % de cada ácido graso sobre ácidos grasos totales). AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados;

AGPI: ácidos grasos poliinsaturados; CLA: ácido linoleico conjugado; n.i.: no identificado; n.d.: no detectado. Los superíndices indican las referencias bibliográficas correspondientes a cada caso.

2. Ácido butírico

El ácido butírico es un ácido graso saturado de cuatro carbonos (C4:0) que pertenece al grupo de los ácidos grasos de cadena corta. Se produce en el intestino grueso como producto de la fermentación de la fibra dietaria no digerible por parte de la microbiota intestinal [10,11]. Es el combustible preferido por las células colóni-

cas epiteliales y ejerce funciones relevantes para la homeostasis celular a través de su acción antiinflamatoria, antioxidante y anticancerígena [10,12]. Por otro lado, el ácido butírico favorece la proliferación de bacterias tales como lactobacilos y bifidobacterias, que juegan un papel esencial en la fisiología de los colonocitos [12]. De forma similar al resto de ácidos grasos de cadena corta, el ácido butírico se absorbe a nivel intestinal por difusión pasiva o mediante

transporte activo mediado por transportadores no iónicos como el transportador monocarboxilato tipo 1 y el cotransportador monocarboxilato acoplado a sodio [10,12]. Las principales bacterias productoras de ácido butírico pertenecen al filo Firmicutes, concretamente *Faecalibacterium prausnitzii* y *Eubacterium rectale/Roseburia* spp [10]. La presencia de bacterias productoras de ácido butírico minimiza el crecimiento de *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp, *Salmonella* spp. y *Shigella* spp. [11].

En la grasa láctea, los ácidos grasos están principalmente esterificados en forma de triglicéridos y no se encuentran localizados de forma aleatoria. Por ejemplo, en la leche de vaca, los ácidos grasos de cadena corta se localizan sobre todo en posición sn-3, mientras que los ácidos grasos de cadena media y el ácido palmítico se encuentran principalmente en posiciones sn-1 y sn-2. Los ácidos grasos de cadena corta, como el ácido butírico, son hidrolizados por las lipasas lingual y gástrica, que actúan prioritariamente sobre la posición sn-3 del triglicérido [13]. Una vez hidrolizados, estos ácidos grasos son absorbidos por la mucosa gástrica y transportados al hígado para producir energía. Entre un 25 y un 40% de los triglicéridos presentes en la grasa láctea se digieren en el estómago y el resto es hidrolizado por la lipasa pancreática en el intestino delgado [13,14]. El ácido butírico que se aporta con la dieta en forma de triglicéridos es, por tanto, rápidamente hidrolizado y absorbido a nivel del estómago y en menor medida por el intestino delgado, lo que reduce su impacto positivo en el colon.

3. Ácidos grasos saturados

A pesar que es elevado el contenido de ácidos grasos saturados de cadena larga (14, 16 y 18 átomos de carbono) en la grasa láctea de animales rumiantes [15] y que un exceso de ingesta de ácidos grasos saturados está asociado a un

incremento del riesgo de enfermedad cardiovascular [16], estudios epidemiológicos recientes no revelan una relación positiva consistente entre el consumo de leche entera y productos lácteos y un aumento de la prevalencia de enfermedad cardiovascular [1,17,18]. Al comparar los efectos de consumir lácteos enteros y otros bajos en grasa, no se observaron diferencias significativas entre grupos respecto a marcadores de riesgo cardiovascular [19]. De hecho, no parece existir hasta el momento una evidencia fuerte de efectos perjudiciales de la grasa láctea en enfermedad cardiovascular, si se considera un consumo de leche y productos lácteos en el marco de una dieta equilibrada en personas jóvenes y adultos sanos [20].

4. Ácidos grasos de cadena impar lineales y ramificados

Las leches de vaca, cabra y oveja contienen cantidades significativas de ácidos grasos de cadena impar, tanto lineales como ramificados [21], siendo los ácidos grasos principales de este grupo los denominados iso-tetradecanoico (*iso* C14:0), pentadecanoico (C15:0), *iso*-hexadecanoico (*iso* C16:0), heptadecanoico (C17:0), *iso*-heptadecanoico (*iso* C17:0) y *anteiso* heptadecanoico (*anteiso* C17:0) [21] (**Figura 2**). El ácido pentadecanoico es el más abundante en leche de cabra, oveja y vaca (0,7-1,0% sobre ácidos grasos totales), seguido del ácido heptadecanoico (0,6-0,7%), y los ácidos *anteiso* C15:0, *anteiso* C17:0, *iso* C15:0, *iso* C16:0 e *iso* C17:0 (entre 0,1 y 0,6% cada uno de ellos) [22].

Los ácidos grasos de cadena impar y los ramificados son producidos por las bacterias del rumen de los animales y existen estudios que han reportado actividad anticancerígena de este tipo de ácidos grasos, así como efectos protectores del enterocito [21,23]. Además de los ácidos grasos mencionados, se han encontrado en la grasa láctea los ácidos fitánico y pristánico (**Figura 2**). El ácido fitánico deriva del fitol, presente

en la clorofila. Los microorganismos del rumen liberan el fitol de la clorofila y el fitol se hidrogena hasta dihidrofitol, que los microorganismos del rumen pueden oxidar a ácido fitánico. El ácido fitánico es convertido en ácido pristánico en los peroxisomas. Estos ácidos grasos son absorbidos en el intestino y captados por las glándulas mamarias para producir la leche [23]. En la grasa láctea se han reportado valores de 0,06 g/100 g y 0,28-0,36 g/100 g para los ácidos pristánico y fitánico respectivamente [21]. Si bien el consumo excesivo de ácido fitánico se ha relacionado con efectos deletéreos para la salud humana (principalmente daño neuronal y vascular e incremento

de prevalencia de ciertos tipos de cáncer) [24], es cierto que también existe evidencia de que los ácidos fitánico y pristánico ejercen un efecto protector frente al síndrome metabólico, la diabetes mellitus tipo 2 y cáncer de colon y mama, además de tener un efecto inmunomodulatorio [24,25]. Un reciente meta-análisis encontró una asociación positiva entre niveles más altos de C15:0, C17:0 y trans-C16:1 en plasma y un menor riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 en participantes de 16 estudios de cohorte [26]. En cualquier caso, es conveniente realizar más indagaciones acerca de los efectos de estos ácidos grasos y de sus dosis de ingesta en la salud humana.

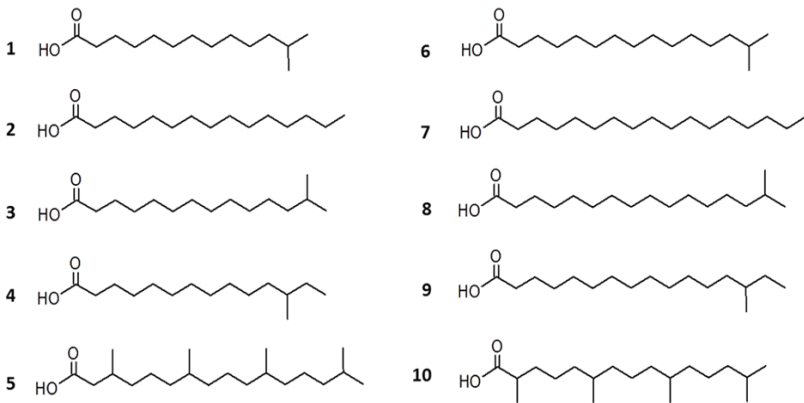


Figura 2. Estructura de ácidos grasos de cadena impar y ácidos grasos ramificados presentes en la grasa láctea. 1) ácido iso-tetradecanoico (iso C14:0); 2) ácido pentadecanoico (C15:0); 3) ácido iso-pentadecanoico (iso C15:0); 4) ácido anteiso-pentadecanoico (anteiso C15:0); 5) Ácido fitánico;

6) ácido iso-hexadecanoico (iso C16:0); 7) ácido heptadecanoico (C17:0); 8) ácido iso-heptadecanoico (iso C17:0); 9) ácido anteiso-heptadecanoico (anteiso C17:0); 10) ácido pristánico.

5. Ácidos grasos “trans” de origen natural

Los ácidos grasos *trans* (AGT) están presentes en la dieta debido a procesos industriales (hidrogenación parcial de aceites y grasas vegetales) y a procesos naturales (hidrogenación

parcial de los ácidos grasos poliinsaturados por microorganismos del rumen en animales rumiantes) [6]. Los AGT tienen la capacidad de alterar la conformación de las membranas celulares, impactando en una reducción de su fluidez, que a su vez define el transporte molecular y la

transmisión de señales celulares a través de la membrana [6]. Por otro lado, los AGT se asocian a un incremento del riesgo de enfermedad cardiovascular [27,28] y en estudios con cultivos celulares se ha observado que los AGT industriales estimulan la inflamación y el estrés oxidativo y alteran el metabolismo lipídico [28], por lo que la Organización Mundial de la Salud recomienda no consumir más del 1% de la energía diaria en forma de estos ácidos grasos y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria aconseja reducir su ingesta al mínimo posible.

No obstante, el contenido en AGT de la leche y productos lácteos es, en general, bajo (menos del 5% del total de ácidos grasos presentes en estos alimentos). Además, se ha reportado que el origen de los AGT en la dieta (industrial o natural) tiene un impacto diferente en la salud, que se ha asociado a la posición del doble enlace y los perfiles específicos de AGT en distintos alimentos [6]. Los AGT de origen industrial son mayoritariamente de 18 carbonos y una insaturación carbono-carbono en su cadena (*trans*-9 y *trans*-10 C18:1). Por el contrario, el AGT principal en la leche, de origen natural, es el *trans*-11 C18:1, llamado ácido vaccénico [29]. La baja concentración de ácido vaccénico en la leche podría ser la causa de que no se hayan observado efectos adversos para la salud, ya que una ingesta anormalmente elevada de este ácido graso (unas 10 veces superior a la ingesta usual promedio) sí puede conducir a la aparición de efectos similares a los causados por los AGT de origen industrial sobre los factores de riesgo de enfermedad cardiovascular [30]. La posición del doble enlace *trans* en la cadena hidrocarbonada también podría ser un motivo para explicar los diferentes efectos observados por parte de los AGT industriales y los existentes en la leche de forma natural. En cualquier caso, estos mecanismos aún no están claramente dilucidados, por lo que se requiere más investigación al respecto.

6. Ácido linoleico conjugado

El ácido linoleico conjugado (CLA por sus siglas en inglés) hace referencia a un grupo de isómeros del ácido linoleico (C18:2n-6) que poseen enlaces dobles conjugados que difieren en su posición en la cadena hidrocarbonada y en su simetría (*cis* o *trans*). El CLA se encuentra de forma natural en carne, leche y productos lácteos procedentes de animales rumiantes debido a procesos de biohidrogenación en el rumen [31]. El ácido ruménico (ácido *cis*-9-*trans*-11 linoleico) es el isómero de CLA más abundante en la grasa láctea (>75% del total de isómeros de CLA) y se encuentra en proporciones de hasta el 1,2, 1,0 y 0,8% del total de ácidos grasos en leche de vaca, oveja y cabra, respectivamente [6,31].

Al CLA se le han atribuido efectos beneficiosos para la salud tales como actividad anticancerígena, reducción del desarrollo de aterosclerosis, reducción de deposición de grasa corporal, estimulación de la función inmune y reducción de glucosa sanguínea, siendo identificados los isómeros *cis*-9-*trans*-11 linoleico y *trans*-10-*cis*-12 linoleico como los principales responsables de estos efectos en modelos animales y celulares [6,31]. Sin embargo, la evidencia acerca de efectos saludables del CLA en humanos es muy limitada y contradictoria, posiblemente debido a las altas dosis ensayadas en modelos animales y no en humanos. El consumo medio diario de CLA en humanos varía en función de la dieta y fluctúa en un rango amplio (usualmente entre 15 y 400 mg), mientras que los efectos beneficiosos en animales se han reportado a dosis más altas [6].

En humanos, se han realizado intervenciones con dosis iguales o superiores a 3 g CLA/día a corto plazo (entre 3 y 12 semanas de duración); algunos han reportado una disminución de la masa corporal y otros no, mientras que la mayoría de los trabajos no han mostrado una alteración significativa del perfil lipídico sanguíneo respecto al grupo control [32]. Por otro lado, los

resultados de suplementación con CLA en relación con actividad anticancerígena son contradictorios: mientras algunos estudios han reportado una reducción de la incidencia y progresión de cáncer de mama o colon en humanos, otros trabajos no han podido validar este efecto, por lo que la evidencia es insuficiente para afirmar que el CLA posee actividad anticancerígena. De igual forma sucede con la asociación entre suplementación con CLA y alteración del riesgo de enfermedad cardiovascular [33].

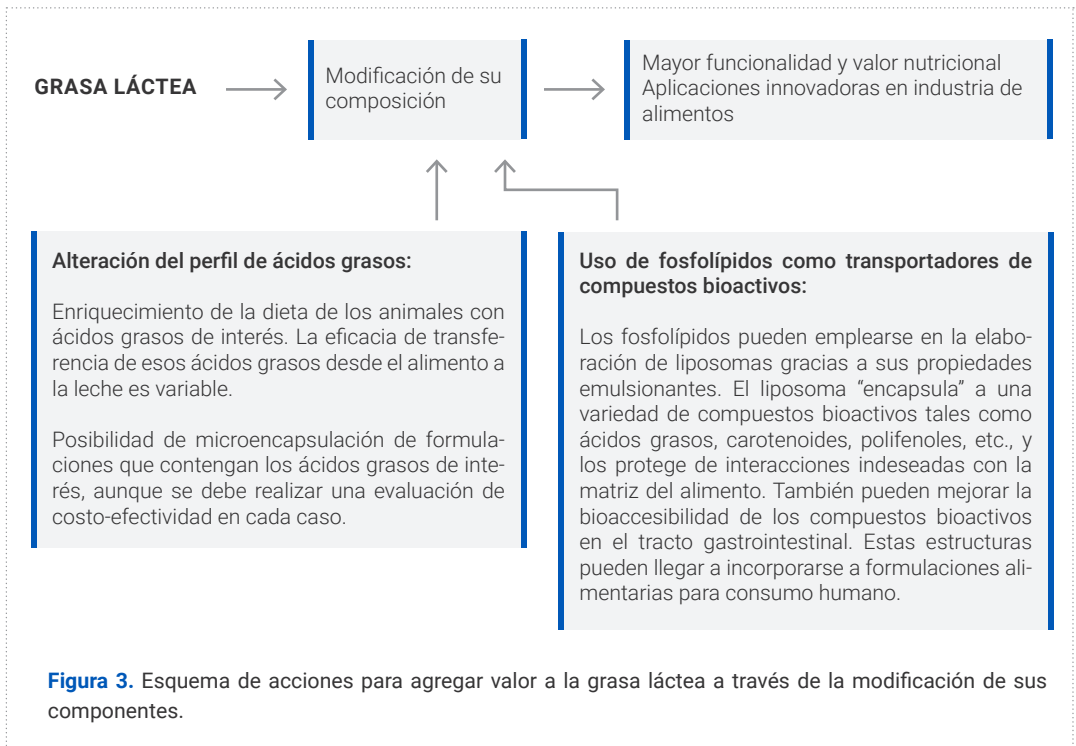
7. Fosfolípidos

Los fosfolípidos son moléculas anfífilas que se localizan en la membrana de los glóbulos grasos de la leche, siendo la fosfatidilcolina (PC), fosfatidiletanolamina (PE), fosfatidilinositol (PI), fosfatidilserina (PS) y esfingomielina (SM) las clases de fosfolípidos principales presentes en la grasa láctea. Los fosfolípidos poseen propiedades beneficiosas para el organismo ya que pueden modular los procesos inflamatorios, ejercen actividad quimiopreventiva sobre algunos tipos de cáncer, y pueden inhibir la absorción intestinal del colesterol [34]. Por otro lado, los fosfolípidos pueden ejercer un efecto neuroprotector: por ejemplo, en la enfermedad de Alzheimer, los niveles de PC y PE están disminuidos y la PS juega un papel importante en la transmisión de la señal nerviosa y previene el envejecimiento prematuro del cerebro [35]. En leche de vaca, los fosfolípidos mayoritarios son PE (26-72% de los fosfolípidos totales), PC (8-45%) y SM (4-29%), seguidos de PS (2-16%) y PI (1-14%) [1,34]. En cuanto a los perfiles de ácidos grasos de los fosfolípidos, los ácidos grasos de cadena corta y media están presentes en muy baja proporción. PE contiene sobre todo ácidos grasos insaturados, mientras que PC posee ácidos grasos más saturados que otras clases de fosfolípidos y SM presenta un perfil de ácidos grasos saturados de

cadena larga [34]. En cualquier caso, la composición de ácidos grasos de las distintas clases de fosfolípidos está influida por factores genéticos y de alimentación de los animales productores de la leche [14,36]. En términos de composición, la leche de vaca contiene entre 20 y 40 mg de fosfolípidos por 100 mL de leche, siendo los fosfolípidos disponibles PE, PC, SM, PI, PS y liso-PC y estos mismos tipos de fosfolípidos se encuentran en leche de oveja (30 mg/100 mL), cabra (20-30 mg/100 mL) y, en menor proporción, en leche de burra (3-4 mg/100 mL) [36].

8. Modificación de la composición de la grasa láctea con fines alimentarios y nutricionales

En las últimas décadas ha crecido la tendencia de sacar al mercado alimentos modificados con potenciales beneficios para la salud del consumidor. Esto es debido a la toma de conciencia del consumidor de la relación existente entre nutrición y salud y al deseo de una mayor calidad de vida a lo largo del ciclo vital, especialmente entre los adultos mayores. La grasa láctea es una fracción de la leche que es susceptible de ser modificada para mejorar sus propiedades nutricionales (por ejemplo, modificando su perfil de ácidos grasos para incluir en su composición ácidos grasos n-3) [37]. De esta forma, la modificación de la grasa láctea se convierte en una herramienta para incrementar su funcionalidad y valor nutricional y también para potenciar sus aplicaciones en la industria de alimentos. Dos de las tendencias principales para alterar la composición de la grasa láctea consisten en la modificación de su perfil de ácidos grasos y en el empleo de los fosfolípidos de la membrana del glóbulo graso para la elaboración de liposomas con función de transportadores de compuestos bioactivos con interés nutricional (**Figura 3**).



9. Modificaciones del perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga eicosapentaenoico (EPA, C20:5n-3) y docosahexaenoico (DHA, C22:6n-3) son importantes para el organismo humano debido a sus propiedades beneficiosas para la salud [38]. El organismo solo es capaz de producirlos en muy pequeñas cantidades, por lo que es recomendable aportarlos con la dieta. La leche de vaca y de otros ruminantes como cabra y oveja apenas contiene EPA y, DHA (menos del 1% de los ácidos grasos totales) y dada su relevancia nutricional, se han ensayado estrategias para incrementar el contenido de estos dos ácidos grasos en la leche mediante la modificación de la dieta de los animales. Los ácidos grasos presentes en la grasa láctea se generan por dos vías: *i*) a través del metabolismo en las células epiteliales de las

mamas, donde se sintetizan ácidos grasos de cadena corta y media a partir de acetato y β -hidroxibutirato que se generan por la fermentación de la fibra en el rumen; *ii*) a través de la alimentación que proporciona los ácidos grasos de cadena larga presentes en la grasa láctea [29]. El alimento que reciben las vacas lecheras contiene en general pocos lípidos (5% aproximadamente), siendo los ácidos grasos principales el alfa-linolénico (ALA, C18:3n-3) y el linoleico (LA, C18:2n-6). El primero, procedente del forraje. El segundo, de los aceites de semilla que se añaden al pienso [39].

Se han usado fuentes ricas en EPA y DHA como aceites y harinas de pescado para incorporar a los piensos con el fin de incrementar el contenido de estos dos ácidos grasos en la leche a través de la alimentación de los animales. No obstante, algunos estudios han descrito un incremento muy pequeño de la proporción de EPA y DHA en la leche respecto a la composición de le-

che de animales sin suplementar [39]. Esto puede deberse a que el EPA y el DHA son biohidrogenados casi completamente por la microbiota del rumen [40], o bien, porque ambos ácidos grasos se encuentran formando parte de ésteres de colesterol o de fosfolípidos, por lo que no están disponibles en los triglicéridos de las lipoproteínas (quilomicrones y VLDL), que es la forma química más empleada por las glándulas mamarias para incorporar los ácidos grasos a la grasa láctea [29,39]. En cualquier caso, estos estudios apuntan a una baja “eficacia de transferencia” de EPA y DHA del alimento a la leche. Además, alimentar a los animales con harinas o aceites de pescado podría llevar a empeorar la calidad organoléptica de la leche, confiriéndole olor o sabor a pescado, tal y como han puesto de manifiesto trabajos previos [39]. Por otro lado, la suplementación del pienso con aceite de pescado reduce la ingesta en vacas cuando se aporta por encima del 1% de la materia seca del alimento [41].

Por el contrario, otros autores señalan que la suplementación del pienso con aceites de origen marino ricos en EPA y DHA hasta en un 2% sobre materia seca es capaz de aumentar significativamente la proporción de EPA y DHA en la leche de rumiantes (vaca, cabra y oveja) y de reducir la proporción de ácidos grasos saturados sobre ácidos grasos totales, sin alterar la estabilidad oxidativa ni la calidad organoléptica de la leche y productos lácteos [41,42]. Un meta-análisis publicado recientemente concluyó que es posible incrementar de forma significativa el contenido de CLA en leche de rumiante a través de la dieta, suministrando aceites de origen terrestre o marino ricos en ácido linoleico y linolénico: el 94% de los trabajos revisados reportó un enriquecimiento significativo de CLA en la leche, sobre todo de su isómero *cis-9 trans-11* CLA [43]. Por otro lado, se ha reportado que la leche de vaca procedente de animales que se alimentan de pasto al aire libre puede llegar a contener el doble de CLA que la leche de vacas alimentadas con pienso en granjas, además de presentar un perfil más rico en ácidos grasos poliinsaturados n-3 y

un menor índice trombogénico [44]. La estacionalidad es otro factor a considerar, puesto que se han observado mayores concentraciones de CLA y de ácidos grasos poliinsaturados n-3 en la leche cuando los animales se alimentan de pasto durante la primavera y el verano que durante el invierno [44].

Una estrategia aún poco estudiada pero que puede ofrecer resultados prometedores es la encapsulación de los lípidos ricos en ácidos grasos n-3, sobre todo aquellos que contienen EPA y DHA, para su inclusión en el alimento de los rumiantes. Una encapsulación eficiente podría proteger estos ácidos grasos altamente insaturados de procesos oxidativos y de interacciones con otros componentes del alimento, así como minimizar su biohidrogenación en el rumen y, por tanto, facilitar su absorción y uso metabólico para incorporarlos a la grasa láctea [45]. No obstante, aparte de las ventajas citadas, se debe considerar el alto costo de esta estrategia, que en numerosos casos es un efecto disuasorio para los productores de leche. Estudios futuros en esta línea podrían llevar a un abaratamiento de costos y a una optimización de los materiales de encapsulación lipídica para alcanzar en la leche porcentajes de ácidos grasos n-3 más significativos desde un punto de vista nutricional.

10. Empleo de fosfolípidos como transportadores de compuestos bioactivos

Los fosfolípidos presentes en la grasa láctea se localizan en la membrana del glóbulo graso y tienen un menor contenido de ácidos grasos poliinsaturados que los fosfolípidos de la lecitina de soja o de huevo, por lo que son más resistentes a la degradación oxidativa que los fosfolípidos de esas otras fuentes [46]. Los fosfolípidos de la grasa láctea presentan buenas propiedades emulsionantes y pueden emplearse para formar liposomas, cuya función es encapsular compuestos activos (ácidos grasos, carotenoides, vi-

taminas, etc.). De esta forma es posible proteger dichos compuestos bioactivos de interacciones con otros componentes de la matriz alimentaria donde se incorporen y aportarles mayor estabilidad, a la vez que se mejora la bioaccesibilidad de estos compuestos en el tracto gastrointestinal. Se ha reportado que los liposomas preparados a partir de fosfolípidos de grasa láctea retienen mejor la integridad de la membrana durante la digestión gastrointestinal que los liposomas preparados con fosfolípidos derivados de la lecitina de soja [47]. La posibilidad de producción a escala industrial junto con su capacidad de albergar moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas hacen también de los liposomas una herramienta interesante para el encapsulado de compuestos bioactivos en la industria de alimentos y nutracéuticos.

Los polifenoles son compuestos poco solubles en ciertas matrices alimentarias y, además, muy susceptibles a la degradación oxidativa por las condiciones del medio. Por otro lado, su sabor es amargo en muchos casos, lo que reduce sus posibilidades de uso como compuestos bioactivos para fortificar o suplementar alimentos. La curcumina es un compuesto fenólico con actividad antitumoral, antioxidante y antiinflamatoria, aunque es muy sensible a las condiciones del medio (pH, luz, temperatura). Los liposomas obtenidos mediante fosfolípidos de la grasa láctea se pueden usar como transportadores de curcumina o de otros polifenoles como resveratrol [48,49]. Estos liposomas son más baratos que los obtenidos a partir de fosfolípidos de soja y presentan mayor eficiencia de encapsulación y menor tamaño de partícula y también mayor estabilidad frente a luz, temperatura, oxígeno y humedad relativa [49]. También se ha descrito encapsulación con liposomas de vitaminas, aceites esenciales e incluso enzimas, para acelerar la maduración en quesos y minimizar la proteólisis enzimática que provoca defectos en la textura y sabor de estos alimentos [49,50].

En ocasiones en las que la estabilidad de los liposomas en alimentos no sea elevada, se puede

recurrir a compuestos tales como polietilenglicol, chitosán y derivados del dextrano para reforzar la estructura liposómica [49]. Como etapa previa a la formación de liposomas con función transportadora de nutrientes y/o compuestos bioactivos a partir de fosfolípidos de grasa láctea, estos deben purificarse desde varias fuentes como grasa láctea anhidra, mantequilla o lactosuero, aunque la grasa láctea anhidra del suero de mantequilla es una de las fuentes más ricas, alcanzando un valor de hasta un 11,5% de fosfolípidos sobre masa total y un 48% del total de lípidos presentes [46]. La extracción con etanol es el método más frecuente para purificar esos fosfolípidos: se ha reportado un 90% de recuperación de fosfolípidos usando etanol al 90% a 70 °C [51]. También se ha usado CO₂ supercrítico con un cosolvente como dimetil éter, o acetona, un solvente donde los fosfolípidos son insolubles y precipitan, facilitando su separación de los componentes solubles en la acetona. La desnaturalización de las proteínas presentes en el medio (proteólisis) es una etapa necesaria para obtener mayor pureza de los fosfolípidos [46,52]. Otros estudios han reportado una extracción completa de PC, PE y SM empleando como agente extractante CO₂ supercrítico con un 20% de etanol, aunque la extracción de PS y PI fue deficiente, lo que limita la utilidad de este método a nivel industrial [52]. Por último, la filtración por membrana (microfiltración o ultrafiltración) unida a una etapa de proteólisis es un método basado en la separación por tamaño molecular que ha reportado altos rendimientos de concentración de fosfolípidos lácteos, ya que esta técnica es capaz de retirar la fracción proteica y ha reportado ser eficiente en términos de rendimiento y costo-efectividad [52].

11. Conclusión

La grasa láctea es una fracción de la leche con una composición lipídica característica, que

aporta ciertos ácidos grasos poco disponibles en otros alimentos y con un interés potencial en salud humana. A pesar que algunos de ellos han demostrado efectos saludables en modelos *in vitro* e *in vivo*, la evidencia es aún insuficiente en humanos, por lo que es necesario realizar investigaciones adicionales. En este sentido, existe evidencia preliminar de potenciales beneficios para la salud de la leche entera en el contexto de una dieta equilibrada, tales como efectos protectores frente al sobrepeso, diabetes y enfermedad cardiovascular, aunque se necesita un mayor número de estudios para confirmar estos extremos. En cualquier caso, no se han reportado efectos perjudiciales para la salud humana asociados al consumo de leche entera y productos lácteos en el marco de una dieta equilibrada y en población sana (exceptuando a aquellas personas intolerantes a la lactosa o con alergia a la proteína láctea). La modificación del perfil de ácidos grasos de la grasa láctea para incorporar ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga u otros ácidos grasos de interés nutricional mediante la transformación del alimento animal es una estrategia que puede ofrecer buenos resultados, así como el aporte de compuestos bioactivos encapsulados en liposomas elaborados a partir de fosfolípidos de la grasa láctea. Sin embargo, estos desarrollos requieren de mayores investigaciones para optimizar sus efectos deseados en alimentación y nutrición humana.

Referencias

- Bernard L. y cols. Milk fat globule in ruminant: Major and minor compounds, nutritional regulation and differences among species. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2018;120:1700039.
- Al Haj O.A. y Al Kanhal H.A. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *Int. Dairy J.* 2010;20:811-21.
- Haddad I. y cols. Stereospecific analysis of triacylglycerols in camel (*Camelus dromedarius*) milk fat. *Int. Dairy J.* 2010;20:863-67.
- Arranz E. y Corredig M. Invited review: Milk phospholipid vesicles, their colloidal properties, and potential as delivery vehicles for bioactive molecules. *J. Dairy Sci.* 2017;100:4213-22.
- Hageman J.H.J. y cols. Comparison of bovine milk fat and vegetable fat for infant formula: Implications for infant health. *Int. Dairy J.* 2019;92:37-49.
- Gómez Cortés P. y cols. Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision. *Trends Food Sci. Technol.* 2018;81:1-9.
- Devle H. y cols. A comparative study of fatty acid profiles in ruminant and non-ruminant milk. *Eur J Lipid Sci Technol.* 2012;114:1036-1043.
- Ménard O. y cols. Buffalo vs. cow milk fat globules: Size distribution, zeta-potential, compositions in total fatty acids and in polar lipids from the milk fat globule membrane. *Food Chem.* 2010;120:544-551.
- Fontecha J. y Juárez M. Avances científicos sobre el papel de la grasa láctea en la alimentación. En: *Avances en Alimentación, Nutrición y Dietética*. Ed. Nemira, Madrid, 2012.
- Bach Knudsen K.E. y cols. Impact of diet-modulated butyrate production on intestinal barrier function and inflammation. *Nutrients* 2018;10:e1499.
- Załęski A. y cols. Butyric acid in irritable bowel syndrome. *Prz Gastroenterol.* 2013;8:350-53.
- Tralongo P. y cols. The role of butyric acid as a protective agent against inflammatory bowel diseases. *Euromed Biomed J.* 2014;9:24-35.
- Lindmark Månsson H. Fatty acids in bovine milk fat. *Food Nutr. Res.* 2008;52:1821.
- Lecomte M. y cols. Nutritional Properties of Milk Lipids: Specific Function of the Milk Fat Globule. In: *Dairy in Human Health and Disease Across the Lifespan*, R.R. Watson, R.J. Collier, and V.R. Preedy, Editors. 2017, Academic Press. pp. 435-52.
- Markiewicz Kęszycka M. y cols. Fatty acid profile of milk-a review. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy* 2013;57:135-139.
- Zong G. y cols. Intake of individual saturated fatty acids and risk of coronary heart disease in US men and women: two prospective longitudinal cohort studies. *Brit. Med. J.* 2016;355: i5796.
- Guo J. y cols. Milk and dairy consumption and risk of cardiovascular diseases and all-cause mortality: dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur. J. Epidemiol.* 2017;32:269-87.
- Ruiz Núñez B. y cols. The relation of saturated fatty acids with low-grade inflammation and cardiovascular disease. *J. Nutr. Biochem.* 2016;36:1-20.
- Benatar J.R. y cols. Effects of high and low fat dairy food on cardio-metabolic risk factors: a meta-analysis of randomized studies. *PloS One* 2013;8:e76480.
- Fontecha J. y Juárez M. Recent Advances in Dairy Ingredients and Cardiovascular Diseases With Special Reference to Milk Fat Components. In: *Dairy in Human Health and Disease Across the*

- Lifespan, R.R. Watson, R.J. Collier, and V.R. Preedy, Editors. 2017, Academic Press. pp. 251-61.
21. Vlaeminck B. y cols. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Animal Feed Sci. Technol.* 2006;131:389-417.
 22. Rodríguez Alcalá L.M. y col. Milk fat components with potential anticancer activity—a review. *Biosci. Rep.* 2017;37:1-18.
 23. Baumann E. y cols. Effect of lipid supplementation on milk odd- and branched-chain fatty acids in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2016;99:6311-23.
 24. Roca Saavedra P. y cols. Phytanic acid consumption and human health, risks, benefits and future trends: A review. *Food Chem.* 2017;221:237-47.
 25. Bobe G. y cols. Phytol and its metabolites phytanic and pristanic acids for risk of cancer: current evidence and future directions. *Eur. J. Cancer Prev.* 2020; 29:191-200.
 26. Imamura F. y cols. Fatty acid biomarkers of dairy fat consumption and incidence of type 2 diabetes: A pooled analysis of prospective cohort studies. *PLoS Medicine* 2018;15:e1002670.
 27. Islam M.A. y cols. Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Diabetes Metab. Syndr: Clinical Research & Reviews* 2019;13:1643-47.
 28. Oteng A.B. y Kersten S. Mechanisms of Action of trans Fatty Acids. *Adv. Nutr.* 2019; 00:1-12.
 29. Shingfield K.J. y cols. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal.* 2012;7:132-62.
 30. Gebauer S.K. y cols. Vaccenic acid and trans fatty acid isomers from partially hydrogenated oil both adversely affect LDL cholesterol: a double-blind, randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2015;102:1339-46.
 31. Fuke G. y Nornberg J.L. Systematic evaluation on the effectiveness of conjugated linoleic acid in human health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017;57: 1-7.
 32. Kim J.H. y col. Conjugated linoleic acid: potential health benefits as a functional food ingredient. *Ann. Rev. of Food Sci. Technol.* 2016;7:221-44.
 33. Den Hartigh L.J. Conjugated Linoleic Acid Effects on Cancer, Obesity, and Atherosclerosis: A Review of Pre-Clinical and Human Trials with Current Perspectives. *Nutrients* 2019;11:370.
 34. Contarini G. y Povoio M. Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *Int. J. Molec. Sci.* 2013;14:2808-31.
 35. Grażyna C. y col. Natural antioxidants in milk and dairy products. *Int. J. Dairy Technol.* 2017;70:165-78.
 36. Verardo V. y col. Recent advances in phospholipids from colostrum, milk and dairy by-products. *Int. J. Molec. Sci.* 2017;18:173.
 37. Gandhi K. y cols. Modified Milk Fat and Its Applications in Food Products. *Research & Reviews: J. Dairy Sci. Technol.* 2018;2:16-24.
 38. Shahidi F. y Ambigaipalan P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Ann. Rev. Food Sci. Technol.* 2018;9:345-81.
 39. Lock A.L. y Bauman D.E. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids* 2004;39:1197-1206.
 40. Lanier J.S. y Corl B.A. Challenges in enriching milk fat with polyunsaturated fatty acids. *J. Animal Sci. Biotechnol.* 2015;6:26.
 41. Moallem U. Roles of dietary n-3 fatty acids in performance, milk fat composition, and reproductive and immune systems in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2018;101:8641-61.
 42. Gebreyowhans S. y cols. Dietary enrichment of milk and dairy products with n-3 fatty acids: A review. *Int. Dairy J.* 2019;97:158-66.
 43. Biglu M. y cols. Scientific Advances of Milk Enrichment with Conjugated Linoleic Acid to Produce Anti-Cancer Milk. *Int. J. Cancer Manag.* 2017;10:e5868.
 44. Stanton C. y cols. Influence of pasture-feeding on milk and meat product quality. En: *Sustainable meat and milk production from grasslands*. Editado por B. Horan y cols. Cork, Irlanda. 2018; pp. 43-53.
 45. Muruz H. y Çetinkaya N. The effect of dairy cow feeding regime on functional milk production. *Int. Adv. Res. Eng. J.* 2019;3:1-6.
 46. Huang Z. y cols. Vesicle properties and health benefits of milk phospholipids: a review. *J. Food Bioact.* 2019;5:31–42.
 47. Liu W. y cols. Structure and integrity of liposomes prepared from milk- or soybean-derived phospholipids during in vitro digestion. *Food Res. Int.* 2012;48:499-506.
 48. Emami S. y cols. Liposomes as carrier vehicles for functional compounds in food sector. *J. Exp. Nanosci.* 2016;11:737-59.
 49. Jin H.H. y cols. Curcumin liposomes prepared with milk fat globule membrane phospholipids and soybean lecithin. *J. Dairy Sci.* 2016;99:1780-90.
 50. Khanniri E. y cols. Application of liposomes in some dairy products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2016;56:484-93.
 51. Price N. y col. Extraction of phospholipids from a dairy by-product (whey protein phospholipid concentrate) using ethanol. *J. Dairy Sci.* 2018;101:8778-87.
 52. Huang Z. y cols. Production of milk phospholipids-enriched dairy ingredients. *Foods* 2020; 9:263.