LA ARQUITECTURA DE LA GRASA

Oleogeles, emulsiones estructuradas y la reinvención de la textura alimentaria

De la cristalización lipídica y la ingeniería interfacial a la reformulación nutricional, el rendimiento industrial y el Derecho alimentario europeo

INTABIOTECH KNOWLEDGE CENTER · REVISIÓN CIENTÍFICA Y REGULATORIA 003

José M. López, BSc, MD, PhD, LLD (C)

ORCID: 0009-0006-9238-0080

Resumen

La grasa sólida no es simplemente una fracción nutricional de una fórmula. Es un material diseñado cuya organización cristalina, trayectoria de fusión, inmovilización del aceite, comportamiento interfacial e interacción con otros constituyentes alimentarios determinan buena parte de la textura y la estabilidad de los alimentos comerciales. La sustitución de grasas plásticas ricas en ácidos grasos saturados o de fracciones grasas tropicales por aceites líquidos insaturados genera, por tanto, un déficit estructural que no puede corregirse reproduciendo únicamente el contenido lipídico total. Los oleogeles, los geles de emulsión, las emulsiones de alta fase interna, los sistemas estabilizados por partículas y los bigeles híbridos han surgido como distintas formas de abordar este déficit. Esta revisión crítica interdisciplinar examina su ensamblaje molecular y coloidal, sensibilidad al procesado, química oxidativa, comportamiento gastrointestinal y evidencia de rendimiento en el producto final. Se presta especial atención a estudios originales de 2026 sobre rellenos de confitería y cremas de chocolate para untar, que respaldan la viabilidad en matrices experimentales definidas, pero no permiten formular afirmaciones generales de equivalencia industrial o clínica. Se establece una distinción jurídica decisiva entre un aceite físicamente estructurado, tecnológicamente plausible, y un alimento terminado cuyos ingredientes, aditivos, denominación y declaraciones comerciales son legales en la Unión Europea. La Directiva 2000/36/CE introduce una limitación especial para los productos de cacao y chocolate; los Reglamentos (CE) n.º 1333/2008 y (UE) 2015/2283 exigen examinar la identidad de los ingredientes funcionales y de su fabricación; el Reglamento (CE) n.º 1924/2006 regula las declaraciones relativas a la reducción de grasas saturadas; y el Reglamento (UE) 2026/1825 actualiza las disposiciones sobre contaminantes relativas al 3-MCPD y a los ésteres glicidílicos de ácidos grasos. El artículo propone un marco de validación industrial por etapas que relaciona las especificaciones lipídicas, la mecánica de las redes, la tribología, la vida útil oxidativa, la respuesta sensorial, la conformidad composicional y la economía del producto. La oportunidad estratégica no consiste en convertir todos los alimentos en productos bajos en grasa, sino en construir **fases lipídicas diseñadas funcionalmente**, cuya estructura y composición sean medibles de manera independiente, estables y jurídicamente defendibles.

Palabras clave: oleogel; oleogelificación; gel de emulsión; lípidos estructurados; grasas saturadas; cristalización; migración de aceite; rellenos de cacao; chocolate; panificación; oxidación; tribología; reología; digestión lipídica; Derecho alimentario europeo; nuevos alimentos; contaminantes.

1. La grasa que experimenta el consumidor es un material, no el resultado de un análisis

Una tabla nutricional puede indicar que un alimento contiene una cantidad determinada de grasa y ácidos grasos saturados. No puede explicar por qué una galleta se fractura limpiamente, por qué un relleno cremoso sigue siendo untable a 18 °C, por qué una cobertura de chocolate se contrae durante el enfriamiento o por qué una barrita aparentemente estable se endurece al cabo de ocho semanas. Estas características dependen de la disposición espacial de los lípidos y los sólidos, no solo de los porcentajes relativos de ácidos grasos obtenidos tras una transesterificación analítica. En consecuencia, el tecnólogo alimentario trabaja al menos con dos realidades distintas: una composición lipídica química y una fase grasa físicamente estructurada. Están relacionadas, pero no son sinónimos.

Muchas grasas alimentarias convencionales contienen una fracción cristalina sólida a temperatura ambiente. La distribución de triacilglicéridos (TAG), la proporción de grasa sólida en función de la temperatura, el polimorfismo cristalino, la interacción entre partículas y el historial de cizallamiento determinan conjuntamente la plasticidad. Los ácidos grasos saturados suelen contribuir a este comportamiento porque forman parte de especies de TAG con características de fusión que facilitan la formación de redes. Sin embargo, desde el punto de vista químico es impreciso considerar la cantidad de grasa saturada como una medida directa de la resistencia mecánica. La posición de los ácidos grasos en el esqueleto de glicerol, la compatibilidad entre TAG, el historial térmico y la microestructura también influyen en el material terminado. Tampoco todos los alimentos ricos en grasas saturadas son funcionalmente intercambiables.

Durante décadas, la vía más sencilla para obtener un producto con funcionalidad de grasa sólida consistía en seleccionar una grasa naturalmente sólida adecuada, un lípido fraccionado o una composición modificada de TAG. Las grasas trans de producción industrial constituían anteriormente otra forma de conseguir una plasticidad deseable; la normativa europea restringe hoy estrictamente las grasas trans distintas de las presentes de forma natural en las grasas de origen animal. Una alternativa menos invasiva desde el punto de vista composicional consiste en mantener un aceite predominantemente líquido e inmovilizarlo en una red tridimensional formada por una proporción comparativamente pequeña de material estructurante. Esta es la premisa de la oleogelificación. Las revisiones recientes, incluidos trabajos publicados en 2026, sitúan cada vez más los oleogeles junto a los geles de emulsión, los sistemas estabilizados por partículas y los bigeles, en lugar de tratarlos como una tecnología única (Ali et al., 2026; Structural Engineering of Edible Oleogels, 2026).

La distinción conceptual más importante es que **una fase grasa puede adquirir mecánicamente un comportamiento semejante al de un sólido sin que el aceite que la constituye tenga que enriquecerse en ácidos grasos saturados**. La verdadera cuestión científica es si esa distinción se mantiene durante el almacenamiento, el procesamiento oral, el calentamiento industrial y la digestión. Debe responderse para cada red lipídica y cada aplicación. Un gel de laboratorio atractivo no es automáticamente una grasa plástica aceptable para panificación, y un relleno de confitería satisfactorio no constituye prueba de una mejora de la salud cardiometabólica.

2. Los oleogeles forman parte de una familia más amplia de lípidos estructurados

Un oleogel es, en términos generales, un sistema semisólido en el que un aceite líquido queda inmovilizado dentro de una red formada por un agente estructurante, habitualmente denominado oleogelificante. El aceite sigue siendo la fase continua mayoritaria. La formación de la red puede deberse a la cristalización y el autoensamblaje de compuestos de bajo peso molecular, estructuras poliméricas, interacciones interfaciales entre partículas o una organización inducida mediante plantillas. Lo determinante es que aparezca una arquitectura suficientemente conectada para resistir el flujo y retener el lípido líquido en las condiciones de interés.

La oleogelificación directa suele requerir la disolución o dispersión de un agente estructurante en el aceite, bajo condiciones controladas de temperatura y cizallamiento, seguida de enfriamiento u otra etapa que permita la organización de la red. Las ceras, determinados monoacilglicéridos y otras sustancias compatibles con los lípidos pueden formar ensamblajes cristalinos finos. Las vías poliméricas pueden emplear etilcelulosa u otros materiales, pero su situación en Derecho alimentario no puede deducirse de su descripción química general ni de su autorización para otras aplicaciones. La concentración necesaria para alcanzar un módulo determinado no es una constante universal: la polaridad del aceite, la composición de TAG, las impurezas, la velocidad de enfriamiento y el historial térmico pueden hacer que formulaciones nominalmente idénticas se comporten de forma diferente.

Los oleogeles obtenidos a partir de plantillas de emulsión siguen una trayectoria diferente. Primero se estructura o compartimenta el aceite en una emulsión, de modo que proteínas, polisacáridos o partículas contribuyan a crear una red; la eliminación posterior de parte o casi toda el agua puede producir un material rico en aceite que se sostenga por sí mismo. Esta vía puede proporcionar funcionalidad con menor dependencia de cristalizantes lipídicos, pero adquieren importancia crítica la energía de secado, la duración del proceso, la humedad residual, los aspectos microbiológicos y la reproducibilidad entre lotes. Un sistema que funciona en un liofilizador de laboratorio puede no superar una evaluación comercial de costes o capacidad de producción.

Por el contrario, un **gel de emulsión** conserva normalmente dos fases: las gotas de aceite quedan inmovilizadas dentro de una matriz gelificada continua, a menudo acuosa. Las redes de proteínas y polisacáridos, el empaquetamiento de las gotas y las interacciones entre gotas y matriz determinan la textura. Un sistema de este tipo puede ser apropiado para un análogo cárnico acuoso, un aderezo, un producto de tipo lácteo o una crema para untar, pero no sustituye directamente a una grasa anhidra en un relleno de confitería de baja humedad. La

adición de agua puede alterar fundamentalmente la actividad de agua, el riesgo microbiológico, la disolución del azúcar, la hidratación de las proteínas y la dinámica de migración.

Las emulsiones de alta fase interna (HIPE) adquieren un comportamiento semejante al de un sólido gracias al empaquetamiento denso de la fase dispersa y a las consecuencias mecánicas de la deformación de las gotas. Las emulsiones estabilizadas por partículas, o de Pickering, aprovechan la adsorción interfacial de partículas con mojabilidad adecuada. Los bigeles combinan una fase lipídica oleogelificada y una fase acuosa hidrogelificada, creando dos redes gelificadas interconectadas o dispersas. Estas categorías pueden solaparse en formulaciones prácticas, pero difieren en sus fases continuas, mecanismos de fallo y requisitos analíticos. La revisión de Ali y colaboradores de 2026 resulta útil precisamente porque reconoce esa diversidad arquitectónica en aplicaciones de análogos cárnicos vegetales, en lugar de presentar todos los sistemas de aceites estructurados como oleogeles de comportamiento idéntico.

Tabla 1. Arquitectura física y problema que pretende resolver cada sistema lipídico

Sistema	Mecanismo estructural dominante	Funciones alimentarias plausibles	Principales modos de fallo	Cuestión regulatoria esencial
Oleogel cristalino directo	Red de oleogelificante que inmoviliza aceite líquido	Plasticidad, untabilidad, retención de aceite	Colapso térmico, fuga de aceite, recristalización, sensación cerosa en boca	¿Son legales todos los gelificantes para esta finalidad tecnológica y categoría de alimentos?
Oleogel polimérico o particulado	Cadenas poliméricas o partículas que establecen una red lipídica conectada	Retención de aceite, compatibilidad con extrusión	Sensibilidad al proceso, dispersión mal controlada	¿Tiene el polímero o la partícula exactos una condición alimentaria y especificación admisibles?
Oleogel basado en una plantilla de emulsión	Red derivada de una emulsión que después se concentra o seca	Sustitución de grasa en matrices relativamente secas	Agua residual, coste del secado, inmovilización incompleta del aceite	¿Qué permanece en el ingrediente final y cómo se clasifica jurídicamente?
Gel de emulsión	Gotas de aceite inmovilizadas dentro de un gel continuo	Lubricación, jugosidad, textura con menos grasa	Sinéresis, inversión de fases, crecimiento microbiano	¿Están autorizados los emulgentes y gelificantes a los niveles previstos?
Emulsión HIPE o estabilizada por partículas	Gotas densamente empaquetadas y/o partículas interfaciales	Untabilidad y sensación de mordida	Coalescencia, fallo de fases inducido por el proceso	¿Está autorizado y correctamente etiquetado el estabilizante particulado?
Bigel	Estructuras acopladas de oleogel e hidrogel	Textura de doble fase e investigación sobre liberación de activos	Migración de agua, desajuste entre redes, liberación sensorial inestable	¿Cumple cada componente los requisitos de ingrediente, aditivo o nuevo alimento?

La tabla presenta categorías de ingeniería y usos en investigación, no autorizaciones para ninguna composición particular.

3. Cristalización, reología y la falsa seguridad de una muestra firme en laboratorio

Una apariencia semejante a la de un sólido es una condición necesaria, pero insuficiente, para sustituir con éxito una grasa. La caracterización reológica debe diferenciar el módulo elástico de almacenamiento (G'), el módulo viscoso de pérdida (G"), la tensión de fluencia, la tolerancia a la deformación y la recuperación tras el cizallamiento. La dependencia de G' y G" respecto de la frecuencia revela si un material se comporta como una red coherente en las condiciones mecánicas del procesado o si simplemente conserva su forma tras un enfriamiento suave. Una muestra que parece sólida en un vial puede colapsar al bombearse, airearse, atravesar una boquilla bajo cizallamiento o mantenerse por encima de su temperatura de estructuración.

En una grasa plástica de panificación, el fallo relevante puede producirse durante el cremado, cuando la grasa debe ayudar a retener burbujas de aire. En un relleno de confitería, puede consistir en la migración de aceite hacia una galleta o una cobertura de chocolate, seguida de alteraciones de textura o de afloramiento graso. En un producto vegetal extrusionado, la arquitectura lipídica puede tener que resistir las condiciones térmicas y mecánicas y proporcionar después una lubricación aceptable durante la masticación. No existe un único módulo objetivo válido para todos esos productos.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) permite caracterizar las transiciones térmicas, pero la posición de sus picos no determina por sí sola las propiedades mecánicas del alimento completo. La microscopía de luz polarizada y, cuando corresponda, la difracción de rayos X pueden aportar información sobre la organización de la red cristalina; la microscopía confocal puede ayudar a resolver las estructuras de emulsión; y los ensayos controlados de tensión-deformación y flujo muestran cómo soportan el trabajo esas estructuras. Una conexión crucial que falta con frecuencia en las publicaciones es que las mediciones estructurales se realizan sobre el gel aislado, mientras que la textura relevante para el consumidor solo se mide una vez integrado el gel en un producto rico en polvo, proteínas o azúcar. Se trata de entornos físicos diferentes.

Un caso especialmente exigente es la manteca de cacao. Su composición de TAG y sus polimorfos cristalinos sustentan el atemperado, el brillo, la fractura, la contracción y la fusión del chocolate convencional. Un aceite estructurado mediante ceras puede presentar una firmeza aparente similar a una temperatura determinada, pero seguir una curva diferente de contenido de grasa sólida, una vía distinta de cristalización y otro perfil de fusión en boca. Estas diferencias pueden resultar decisivas incluso cuando un penetrómetro o un ensayo sencillo de textura sugiere equivalencia. Por ello, la propuesta de utilizar un oleogel en un **relleno con sabor a chocolate** no puede generalizarse a la sustitución de la manteca de cacao en un producto definido legalmente como **chocolate**. Existen razones tanto físicas como jurídicas para separar ambas aplicaciones.

La selección industrial debe, por tanto, vincular cada objetivo funcional con una propiedad medida. La «retención de aceite» debe especificarse como la pérdida producida después de ciclos de temperatura definidos y cargas de centrifugación o compresión. La «untabilidad» debe medirse a temperaturas de consumo y velocidades de cizallamiento realistas. La «estabilidad térmica» debe identificar no solo la temperatura máxima alcanzada, sino también la duración, el perfil de enfriamiento y la recuperación mecánica posterior al ciclo. Un estudio realizado tras 24 horas a 20 °C no puede acreditar por sí solo el rendimiento durante seis meses de distribución europea.

4. Estabilidad oxidativa: una nueva microestructura no invalida la química de los lípidos

Los aceites insaturados ofrecen oportunidades para modificar el perfil de ácidos grasos de un alimento, pero no son químicamente inmunes a la oxidación. La susceptibilidad de una fase lipídica depende de su grado y patrón de insaturación, los antioxidantes endógenos, los metales traza, la exposición al oxígeno, las interfases, la humedad, la temperatura y el historial de procesado. La formación de hidroperóxidos durante las etapas iniciales de la oxidación y su descomposición en aldehídos y otros productos secundarios pueden comprometer el sabor y la calidad nutricional mucho antes de que aparezca un defecto físico visible.

La oleogelificación puede modificar la cinética oxidativa en sentidos opuestos. La red puede restringir el movimiento molecular, limitar la exposición del aceite o favorecer la retención de antioxidantes; alternativamente, puede modificar el transporte de oxígeno, concentrar prooxidantes cerca de las interfases o requerir etapas de calentamiento que aceleren el deterioro. No existe una regla general sólida según la cual un aceite gelificado sea oxidativamente más estable que ese mismo aceite antes de gelificarse. Deben compararse directamente la estructura, el aceite y la vía de procesado.

Un estudio de 2022 sobre galletas de masa quebrada preparadas con sistemas de oleogeles y extracto de té verde investigó las propiedades fisicoquímicas y la estabilidad oxidativa durante 15 semanas. Trabajos más recientes, de 2026, han estudiado galletas enriquecidas con oleogeles y la conservación de los lípidos durante el

almacenamiento. Constituyen pruebas útiles de viabilidad dependiente del proceso y de la matriz, pero no demuestran que cualquier red de aceite evite la oxidación ni que un extracto botánico concreto esté automáticamente autorizado en todos los productos. Las declaraciones relativas a antioxidantes exigen un análisis jurídico independiente y no pueden inferirse de una disminución del índice de peróxidos en laboratorio (The effect of green tea extract and oleogels, 2022; Comparative Evaluation of Functional Biscuits, 2026).

Un programa analítico defendible debe seleccionar sus parámetros según el aceite de partida y el producto. Los índices de peróxidos y de p-anisidina pueden aportar información complementaria, pero ninguno representa por sí solo toda la oxidación en una matriz compleja horneada o que contenga cacao. Los compuestos volátiles del espacio de cabeza, como el hexanal, pueden resultar informativos para determinados aceites; también pueden justificarse mediciones de dienos conjugados, rancidez sensorial y aldehídos específicos. La interpretación de un índice compuesto como TOTOX debe matizarse si los métodos que lo integran no son apropiados para la matriz. El oxígeno del espacio de cabeza del envase, el oxígeno disuelto durante la mezcla, la atmósfera protectora y la contaminación metálica procedente de materias primas también deben formar parte del experimento.

El fallo oxidativo no es solo una cuestión analítica. Un producto puede conservar una tensión de fluencia aceptable mientras desarrolla sabores anómalos, y otro puede mantener un sabor satisfactorio mientras pierde aceite hacia el envase. Ambos defectos tienen importancia comercial, pero las especificaciones de liberación y las acciones correctivas serán diferentes. Por tanto, el mérito científico de un nuevo material estructurante reside en la optimización conjunta de la oxidación, la migración y el rendimiento sensorial, y no en una fotografía favorable de un gel estable.

5. Qué demuestran realmente los estudios originales de 2026

La evidencia reciente más instructiva procede de experimentos de formulación en confitería. Ferdaus y colaboradores (2026) investigaron oleogeles preparados con aceite de maíz o sésamo y cera de girasol o monoestearato de glicerilo, a distintas concentraciones de estructurante. De un conjunto experimental más amplio se seleccionaron cuatro formulaciones para ensayos en rellenos cremosos de chocolate. Los resultados comunicados favorecieron determinados sistemas basados en monoestearato, incluida una formulación con un 6 % de estructurante, en cuanto a aceptación sensorial, textura y comportamiento térmico frente a la grasa plástica concreta utilizada como comparador. El valor de este estudio no radica en establecer universalmente que el monoestearato de glicerilo sea el oleogelificante óptimo. Más bien, demuestra una relación concreta entre estructura, formulación y respuesta sensorial en un sistema de relleno definido, cuya selección de materiales estuvo determinada por distintos resultados experimentales (Ferdaus et al., 2026).

Otro estudio de 2026, publicado en Journal of Food Science, investigó cremas que incorporaban oleogeles estructurados con monoglicéridos o cera de abeja. Los investigadores seleccionaron las formulaciones a partir de su capacidad de retención de aceite y de sus propiedades térmicas y morfológicas antes de examinar los niveles de sustitución de la grasa plástica. Los experimentos abarcaron sustituciones del 25 % al 75 % de ese componente. Los cambios comunicados en contenido de grasas saturadas y textura respaldan la viabilidad de la sustitución parcial. No demuestran que cualquier porcentaje de sustitución, fuente lipídica, línea de procesado o duración de vida útil resulte aceptable. De hecho, la necesidad misma de evaluar diversas proporciones muestra por qué la palabra «sustitución» no debe interpretarse como equivalencia automática uno a uno (A Novel Approach to Reducing Saturated Fatty Acids, 2026).

Otro artículo, publicado por primera vez en noviembre de 2026, evaluó alternativas basadas en cera de arroz y monoestearato de glicerilo para cremas de chocolate para untar, considerando no solo la firmeza, sino también el comportamiento tribológico. Se trata de una mejora metodológica importante: una crema untable satisfactoria debe deformarse bajo el cuchillo, recubrir las superficies orales y liberar aromas durante el consumo. La tribología puede detectar diferencias que pasan inadvertidas en la reología macroscópica, especialmente cuando la lubricación está gobernada por saliva, partículas y una capa límite rica en aceite. No

obstante, sigue siendo necesario demostrar que una diferencia tribológica predice la preferencia del consumidor en la formulación real (From Oleogel Structure to Product Performance, 2026).

En conjunto, estos estudios justifican un programa de ingeniería, pero no establecen una formulación comercial única, un resultado clínico ni una situación jurídica general de autorización en la UE. Su aplicabilidad queda limitada por las diferencias en el origen de los aceites, la identidad y dosis de ceras o monoglicéridos, los sólidos del producto, las condiciones de almacenamiento y la metodología sensorial. La investigación comparativa es más útil cuando la referencia es una grasa plástica industrial realista y no únicamente un aceite líquido sin estructurar del que nunca se esperó un comportamiento adecuado.

Tabla 2. Evaluación de la evidencia de estudios seleccionados de 2026

Contexto de investigación	Qué se examinó	Evidencia respaldada	Qué permanece sin demostrar
Rellenos cremosos de chocolate, Ferdaus et al.	Combinaciones de aceite y estructurante; textura, retención de aceite, respuesta térmica y ensayos sensoriales	Determinados oleogeles seleccionados experimentalmente pueden funcionar de manera aceptable en el relleno especificado	Reproducibilidad industrial, legalidad en todas las categorías, beneficio sanitario a largo plazo
Cremas de relleno, Journal of Food Science	Sistemas de monoglicéridos y cera de abeja; sustitución parcial de grasa plástica	Puede ser viable una reducción dependiente de la formulación de grasas plásticas ricas en saturados	Sustitución completa, vida útil universal, aceptación amplia del consumidor
Cremas de chocolate para untar, Journal of Food Science	Estructuración con cera de arroz y monoestearato; atributos mecánicos y tribológicos	La lubricación oral y la textura macroscópica deben medirse conjuntamente	Modelo predictivo de aceptación, generalización entre categorías
Galletas con oleogeles, 2026	Calidad durante el procesado y almacenamiento	Determinadas redes pueden mantener atributos físicos u oxidativos deseables	Protección universal frente a oxidación o reducción validada del riesgo de enfermedad

La evidencia es fundamentalmente de ingeniería alimentaria. No debe presentarse como evidencia clínica humana derivada de ensayos aleatorizados replicados.

6. El problema de la sensación en boca: por qué importa la tribología junto con el análisis de textura

Un reómetro mide la deformación de una muestra en condiciones impuestas; la boca humana procesa una mezcla dinámica de alimento fragmentado, saliva, mucina, proteínas, edulcorantes y fases lipídicas. Durante la masticación, el sistema atraviesa distintos regímenes de lubricación. La textura a gran escala, la fractura de partículas, la lubricación mixta y el comportamiento de la capa límite pueden influir en la percepción de cremosidad, grasa, sequedad o pastosidad. Un oleogel que reproduzca la dureza macroscópica de una grasa sólida puede generar, sin embargo, una película cerosa inesperada sobre la lengua, una fusión retardada o una capa excesivamente persistente después de tragar.

La temperatura oral no basta como único criterio de diseño. El alimento se distribuye por la boca a lo largo del tiempo; la temperatura superficial, el cizallamiento local, la dilución salival y la disolución de partículas evolucionan durante el consumo. Una transición aparente de fusión cercana a 37 °C puede resultar prometedora, pero no sustituye a la evaluación sensorial de intensidad-tiempo ni a las mediciones realistas de procesamiento oral. Los sistemas de confitería son especialmente sensibles porque el dulzor, la liberación de aromas y el tamaño de partícula interactúan con la lubricación grasa. Reducir las grasas saturadas puede modificar simultáneamente la partición de aromas y la percepción del amargor del cacao, incluso cuando se mantienen constantes los niveles de azúcar y cacao en polvo.

La elección del estructurante debe evaluarse, por tanto, como una decisión sensorial y no solo como una decisión sobre la resistencia de la red. Un gelificante que produzca un G' extremadamente alto a 20 °C podría resultar indeseable si su fusión y fractura generan una sensación cerosa. Un gel menos resistente puede lograr

mejor aceptación por el consumidor, pero presentar fugas de aceite inaceptables durante el almacenamiento. El diseño correcto exige un compromiso entre textura, retención de fases, liberación oral y fiabilidad del suministro, medido en condiciones predefinidas y específicas del producto.

Un plan de investigación integrado podría combinar análisis del perfil de textura, reometría rotacional y oscilatoria, un tribómetro con superficies de contacto adecuadas para alimentos, paneles descriptivos entrenados y ensayos con consumidores. Las correlaciones entre parámetros instrumentales y percepción deben desarrollarse a partir de lotes replicados, comprobarse en un conjunto diferente de formulaciones y comunicarse con sus incertidumbres. Un modelo multivariante entrenado y validado con las mismas muestras no constituye prueba de capacidad predictiva. Distinguir entre modelización explicativa y predicción independiente resulta esencial para las empresas que proponen arquitecturas lipídicas «diseñadas mediante IA».

7. Digestión e interpretación metabólica: los límites de la evidencia

Sustituir un ingrediente rico en ácidos grasos saturados por una fase lipídica con mayor proporción de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados puede ser nutricionalmente relevante. Sin embargo, el efecto dietético depende de los ácidos grasos realmente consumidos, del resto de la receta, de la cantidad de producto ingerida y de los alimentos a los que desplaza en la dieta. Un producto con el mismo contenido total de grasa que su comparador puede reducir las grasas saturadas sin disminuir las calorías. Los lípidos siguen aportando la contribución energética estándar utilizada en la declaración nutricional europea, tanto si están organizados como oleogel como si forman un gel de emulsión.

Las fases lipídicas estructuradas pueden modificar la exposición a las lipasas digestivas. El tamaño de gota, la composición interfacial, la accesibilidad de los triacilglicéridos y la velocidad de desintegración de la red gelificada pueden modificar la lipólisis in vitro o la liberación de compuestos lipófilos. Pero un perfil de liberación in vitro más lento no es necesariamente más saludable. Puede alterar la cinética de absorción en un contexto, reducir la bio-accesibilidad de una vitamina deseable en otro o carecer de efectos clínicamente relevantes en humanos. Los estudios mecanísticos de digestión simulada deben considerarse investigaciones de las vías implicadas, no pruebas de mejora metabólica (Assembly mechanisms and structure design of oleogels and bi-gels, 2026).

Una hipótesis clínica propuesta podría estudiar la lipemia posprandial después de una comida con dos composiciones de igual energía y grasa total, pero distinta arquitectura lipídica. Sería necesario un ensayo diferente para valorar el efecto de una intervención dietética que sustituyera ácidos grasos saturados por insaturados durante varias semanas. Ninguna de estas hipótesis queda respondida por un experimento de textura en un relleno de chocolate. Variables como el área incremental bajo la curva de triglicéridos, las concentraciones de lipoproteínas, la tolerabilidad o el peso corporal necesitan diseños y duraciones distintos. Los cambios en la textura del alimento también pueden modificar el apetito o la elección de porciones, por lo que debe medirse la exposición realista.

Desde el punto de vista comercial resulta tentador describir los aceites estructurados como «grasas saludables». Esa expresión oculta al menos cuatro proposiciones independientes: que el aceite de partida tenga una composición favorable de ácidos grasos; que el estructurante y la vía de fabricación sean legales y seguros; que el alimento terminado presente una composición nutricional mejorada; y que la dieta resultante produzca un efecto fisiológico relevante. La primera puede establecerse mediante cromatografía; la segunda, mediante expedientes regulatorios y de seguridad; la tercera, mediante análisis composicional; y la cuarta, mediante evidencia humana adecuada al efecto declarado. Ninguna de estas determinaciones sustituye a las demás.

8. Cuatro matrices alimentarias, cuatro problemas diferentes de ingeniería

8.1 Cremas de cacao, productos para untar y rellenos de confitería

Las cremas ricas en grasa suelen contener azúcar y cacao en suspensión y, en ocasiones, sólidos lácteos o proteicos en una fase lipídica continua. El producto debe fluir durante la fabricación y, al mismo tiempo, resistir la migración de aceite durante el almacenamiento. Su fusión en boca debe responder a las expectativas del consumidor y su estructura debe tolerar las temperaturas previstas de transporte. Los oleogeles son aquí candidatos pertinentes porque pueden inmovilizar aceites líquidos insaturados manteniendo una arquitectura de fase continua oleosa. Las métricas de selección más útiles son la capacidad de retención de aceite, la tensión de fluencia, la respuesta del contenido de grasa sólida, la migración hacia capas adyacentes de panadería o chocolate, la dispersión de partículas y la sensación sensorial final.

No obstante, «relleno cremoso de chocolate» y «chocolate» no son categorías jurídicas intercambiables. Un relleno o una crema untable puede formularse de manera diferente de un producto cuya denominación esté reservada por la Directiva 2000/36/CE, con sujeción a sus propias normas aplicables de composición y etiquetado. La vía jurídica debe establecerse antes de iniciar los trabajos, no después de que un prototipo haya alcanzado la reología deseada. En muchos casos, desarrollar primero una aplicación destinada a un relleno de chocolate correctamente denominado, en lugar de a la cobertura de chocolate, constituye la opción más creíble técnica y regulatoriamente.

8.2 Grasas de panificación y sustitución de grasas plásticas

Las grasas plásticas de panificación desempeñan múltiples funciones. Afectan a la aireación, el manejo de la masa, el desarrollo del gluten, las interacciones con el almidón, la expansión, la blandura de la miga y la vida útil. El objetivo funcional difiere entre masas laminadas, galletas, bizcochos y obleas rellenas. Una red que funciona bien en una galleta puede no aportar la plasticidad o la estabilización de celdillas gaseosas necesarias en una masa de bizcocho. La mezcla de alto cizallamiento, la temperatura del horno y el enfriamiento introducen cambios de fase ausentes en la caracterización del oleogel a temperatura ambiente.

El enfoque experimental más informativo consiste en variar la sustitución por oleogel de forma independiente respecto del agua y de la grasa total. Modificar simultáneamente las tres variables dificulta la inferencia causal. En una galleta, las mediciones podrían incluir la relación de expansión, la fuerza de fractura, la captación de humedad, la crujencia sensorial, la migración de aceite y la estabilidad oxidativa. En un bizcocho son cruciales la densidad relativa de la masa, la incorporación de aire, el volumen y la distribución de poros de la miga. No basta con comunicar un perfil deseable de ácidos grasos si el producto se vuelve más duro, seco o menos aceptable durante el almacenamiento.

8.3 Proteínas vegetales y análogos cárnicos

Las fases lipídicas estructuradas pueden aportar jugosidad, inclusiones de grasa visibles y lubricidad a los análogos cárnicos vegetales. A diferencia de un relleno de confitería anhidro, estas matrices suelen ser ricas en agua y se someten a un procesado térmico y mecánico considerable. Los geles de emulsión, las emulsiones estabilizadas por partículas o las estructuras híbridas pueden resultar preferibles a los oleogeles directos con ceras, según el comportamiento de liberación deseado. La desnaturalización proteica y la formación de redes interactúan con la retención de lípidos; una formulación aparentemente estable antes de cocinarse puede perder aceite y agua durante el calentamiento.

Los estudios experimentales deben medir las pérdidas de cocción, las pérdidas de lípidos, la humedad exprimida, la fractura, la tribología y la percepción del consumidor, además de la digestibilidad proteica y la estabilidad microbiológica. En 2026, la literatura sobre lípidos estructurados identificó estas arquitecturas multifásicas como prometedoras para análogos cárnicos vegetales, aunque también señaló problemas

pendientes de escalado y evaluación sensorial (Ali et al., 2026). Un análogo proteico debe seguir cumpliendo los requisitos legales de comercialización atendiendo a sus ingredientes reales y su presentación al consumidor.

8.4 Barritas proteicas y coberturas compuestas

Las barritas proteicas combinan una matriz sólida concentrada con plastificantes, aglutinantes de carbohidratos y, con frecuencia, una cobertura grasa o compuesta. La sustitución estructural de la grasa de cobertura puede modificar la viscosidad durante el bañado, la velocidad de solidificación, la adhesión, el agrietamiento y la migración hacia el interior durante el almacenamiento. El endurecimiento de las barritas proteicas con el tiempo ya constituye un proceso cinético complejo; modificar la migración de aceite de la cobertura puede mejorar o empeorar el producto compuesto. Dado que estas barritas suelen distribuirse a temperaturas elevadas y con largas vidas útiles, los ensayos de ciclos térmicos son especialmente pertinentes.

Para un prototipo, la especificación técnica debe separar la cobertura del núcleo de la barrita. Los resultados relevantes incluyen la viscosidad de bañado a la temperatura de proceso, el espesor de película, la cinética de cristalización o solidificación, el afloramiento graso, la adhesión, la mordida, los marcadores oxidativos, las interacciones con el envase y la estabilidad durante el almacenamiento en tiempo real. La utilización de un oleogel en una crema aislada de confitería proporciona una justificación para investigar esta aplicación, no una demostración de que la barrita completa recubierta superará la validación industrial.

9. Marco regulatorio europeo: innovación física e identidad jurídica

9.1 La legalidad de un aceite no hace automáticamente legal cualquier estructurante

En la UE, la clasificación jurídica depende de la sustancia y de su uso concreto. El Reglamento (CE) n.º 1333/2008 regula los aditivos alimentarios empleados deliberadamente con fines tecnológicos, dentro de las categorías de alimentos autorizadas y de las condiciones aplicables. El Reglamento (UE) n.º 231/2012 establece especificaciones para los aditivos autorizados. Una cera utilizada para una función permitida de recubrimiento superficial no puede emplearse automáticamente en concentraciones mucho mayores como agente estructurante en masa dentro de cualquier relleno. Tener un número E no equivale a una autorización universal para cualquier finalidad tecnológica o dosis. Los desarrolladores deben examinar la función real, el nivel de uso, la categoría alimentaria, la especificación y las restricciones aplicables a cada material.

Algunos estructurantes son ingredientes alimentarios ordinarios; otros pueden ser aditivos; y una nueva procedencia, una sustancia modificada o un proceso de fabricación diferente pueden plantear cuestiones de nuevos alimentos conforme al Reglamento (UE) 2015/2283. Una descripción genérica como «cera vegetal», «estructurante de celulosa» o «lípido obtenido por fermentación» no resuelve la clasificación jurídica. Cuando exista incertidumbre, deberán revisarse las pruebas de consumo anterior al 15 de mayo de 1997 y los criterios específicos del proceso establecidos en el Reglamento sobre nuevos alimentos. Tampoco debe confundirse la presencia de un estructurante en un estudio científico no europeo con su autorización en la UE.

9.2 El cacao y el chocolate constituyen un caso especial, no una excepción genérica de confitería

La Directiva 2000/36/CE reserva determinadas definiciones de productos de cacao y chocolate. De acuerdo con su artículo 2 y el anexo II, ciertas grasas vegetales distintas de la manteca de cacao pueden incorporarse a determinados productos de chocolate con estrictas restricciones, incluido un límite del 5 % conforme al cálculo pertinente, el mantenimiento de los contenidos mínimos exigidos de sólidos de cacao y manteca de cacao, y las condiciones de etiquetado. El anexo II contiene criterios composicionales y de proceso para las grasas autorizadas equivalentes a la manteca de cacao; no constituye una autorización general para oleogeles arbitrarios, estructuras de cera o sistemas de TAG modificados enzimáticamente. En particular, los criterios del anexo II excluyen la modificación enzimática de la estructura de los triglicéridos para los equivalentes a la manteca de cacao enumerados.

La consecuencia tiene importancia comercial. Una crema innovadora con sabor a cacao puede ser viable como relleno, producto untable o componente de confitería correctamente denominado, aunque resulte inadecuada para sustituir la manteca de cacao en un producto vendido bajo una denominación protegida de chocolate. La evaluación debe considerar la definición exacta del producto, la composición de los ingredientes, el etiquetado y el país de comercialización. La pregunta regulatoria correcta no es si la grasa alternativa procede de plantas, sino si su incorporación resulta compatible con la identidad reservada del producto.

9.3 Las declaraciones nutricionales y saludables requieren cálculos sobre el producto terminado

En virtud del Reglamento (CE) n.º 1924/2006, la declaración «contenido reducido de grasas saturadas» no queda acreditada únicamente porque un oleogel contenga menos ácidos grasos saturados que un ingrediente de grasa plástica. La condición autorizada pertinente se refiere a la suma de ácidos grasos saturados y ácidos grasos trans del alimento comercializado: debe ser al menos un 30 % inferior a la de un producto similar, y el contenido de ácidos grasos trans debe ser igual o inferior al del comparador. Una comparación legal exige también cumplir los requisitos generales del Reglamento. El producto de referencia y la formulación terminada deben justificarse, y la comparación no puede reconstruirse oportunistamente después de los ensayos.

Por ejemplo, consideremos una comparación meramente ilustrativa por 100 g de alimento terminado. Una formulación convencional contiene 10,0 g de ácidos grasos saturados y 0,2 g de ácidos grasos trans; una formulación rediseñada contiene 6,8 g de saturados y 0,1 g de trans. Las concentraciones combinadas son, respectivamente, 10,2 y 6,9 g. La reducción relativa es (10,2 − 6,9) /10,2 = 32,4 %. Atendiendo únicamente a este criterio numérico, la candidata supera la condición de reducción del 30 % y las grasas trans no han aumentado. Aun así, serían necesarios un comparador adecuado, datos analíticos fiables, una redacción conforme y el cumplimiento de los demás requisitos legales. Estas cifras son hipotéticas y no son datos de productos de INTABIOTECH.

La declaración «bajo contenido de grasas saturadas» es diferente y mucho más exigente: la suma de ácidos grasos saturados y trans no puede superar 1,5 g/100 g en sólidos o 0,75 g/100 mL en líquidos, y no debe aportar más del 10 % de la energía. Sería engañoso interpretar una reducción porcentual considerable en una crema de confitería como prueba de que es «baja en grasas saturadas». Del mismo modo, reducir las grasas saturadas no convierte automáticamente un alimento en bajo en energía o en grasa. La cantidad de grasa y el cálculo energético deben evaluarse por separado conforme al Reglamento (UE) n.º 1169/2011.

Una declaración de propiedades saludables relativa a la sustitución de ácidos grasos saturados por insaturados tiene su propio objeto y condiciones dentro del marco europeo de declaraciones autorizadas, incluido el Reglamento (UE) n.º 432/2012 de la Comisión. La existencia de esa declaración no autoriza afirmaciones cardiovasculares ilimitadas ni aseveraciones terapéuticas para una formulación experimental de oleogel. El alimento final, su composición y las condiciones exactas deben comprobarse en el registro vigente de la Unión.

9.4 Grasas trans, contaminantes de proceso y modificación de 2026

El Reglamento (UE) 2019/649 de la Comisión establece un límite máximo de 2 g de grasas trans por cada 100 g de grasa en los alimentos destinados al consumidor final o al suministro al comercio minorista, excluidas las grasas trans presentes naturalmente en las grasas de origen animal. También establece una obligación específica de información entre empresas en las circunstancias pertinentes. La oleogelificación puede contribuir a evitar la generación de grasas trans mediante hidrogenación parcial, pero no elimina la necesidad de comprobar el perfil real de ácidos grasos de los aceites, grasas plásticas y productos terminados.

El Reglamento (UE) 2023/915 establece contenidos máximos para diversos contaminantes alimentarios, incluidos los ésteres glicidílicos de ácidos grasos y la suma de 3-MCPD y sus ésteres de ácidos grasos en las categorías pertinentes de aceites y alimentos. El Reglamento (UE) 2026/1825 de la Comisión, de 29 de julio de 2026, modificó esas disposiciones, incluidas algunas relevantes para alimentos compuestos que contienen aceites vegetales y límites nuevos o revisados para categorías específicas. Determinados requisitos relativos a

alimentos infantiles y aceites destinados a su fabricación tienen como fecha de aplicación indicada el 1 de enero de 2027. Por consiguiente, un expediente elaborado en noviembre de 2026 debe distinguir las normas ya aplicables de los requisitos con entrada en aplicación futura, y no utilizar un único umbral indiferenciado para todos los productos. La concentración y el tratamiento normativo de los contaminantes en un alimento compuesto requieren un examen particularizado de sus aceites constituyentes, categoría y reglas de cálculo aplicables.

Esta cuestión es independiente del atractivo de la red lipídica. Un oleogel técnicamente estable puede resultar inaceptable porque un aceite refinado u otro ingrediente no cumple la especificación aplicable de contaminantes. A la inversa, un aceite que respeta los límites de contaminantes no cumple automáticamente los requisitos de autorización de una cera o un aditivo. La conformidad analítica constituye una cadena, no un certificado aislado.

Tabla 3. Mapa europeo de decisiones regulatorias para ingredientes lipídicos estructurados

Cuestión regulatoria	Norma principal	Determinación necesaria	Atajo habitual, pero inválido
¿Puede este agente estructurar la fase lipídica en este alimento?	Reglamento (CE) 1333/2008; Reglamento (UE) 231/2012	Clasificación, función, categoría alimentaria, dosis y pureza	«Tiene un número E; por tanto, cualquier uso está permitido»
¿Es un nuevo alimento el material o proceso de fabricación?	Reglamento (UE) 2015/2283; lista de la Unión 2017/2470	Identidad exacta, uso histórico y proceso de producción	«Su familia química es tradicional»
¿Puede venderse el producto final como chocolate?	Directiva 2000/36/CE	Definición reservada, identidad grasa, composición y etiquetado	«Sabe a chocolate»
¿Puede declararse una reducción de grasas saturadas?	Reglamento (CE) 1924/2006	Reducción verificada de saturados + trans y producto comparable	«El aceite de partida contiene menos grasa saturada»
¿Están controlados los niveles de grasas trans?	Reglamento (UE) 2019/649	Cuantificación de grasas trans pertinentes e información B2B cuando proceda	«Los oleogeles nunca contienen grasas trans»
¿Cumplen el aceite y el alimento final los límites de contaminantes?	Reglamento (UE) 2023/915, modificado por 2026/1825	Categoría aplicable, datos analíticos y fechas	«Un aceite conforme convierte en conforme cualquier alimento compuesto»
¿Son veraces las declaraciones nutricionales?	Reglamento (UE) 1169/2011	Grasas, saturados, energía e ingredientes del producto final	«La hoja de formulación equivale a una etiqueta validada»

10. Marco de diseño estructura–composición–Derecho para el desarrollo industrial

Un programa sólido de I+D debe comenzar con un documento de requisitos que indique la función que se pretende sustituir. «Sustituir el aceite de palma» es un objetivo de aprovisionamiento; «sustituir una grasa plástica a 25 °C manteniendo la migración de aceite por debajo de un límite definido y reduciendo al menos un 30 % la suma de ácidos grasos saturados y trans del producto terminado» constituye un planteamiento científico comprobable. Este último identifica restricciones materiales y nutricionales. No presupone un estructurante concreto ni que el umbral acabe justificando una declaración comercial.

Etapa I - Identidad legal y de las materias primas. Registrar el origen botánico, el historial de refinado, los perfiles de TAG y ácidos grasos, los antioxidantes, los contaminantes, la situación relativa a alérgenos, las especificaciones de los materiales y la trazabilidad. Revisar la admisibilidad del estructurante propuesto en la UE para la función prevista antes de iniciar un desarrollo piloto extenso. Un ingrediente no disponible legalmente no debe seleccionarse como candidato comercial principal solo porque ofrezca buenos resultados en investigación.

Etapa II - Caracterización del aceite y de la red. Analizar el aceite constituyente mediante un método validado apropiado para ácidos grasos, con especial atención a las fracciones saturadas y trans. Determinar el índice de

peróxidos, los marcadores de oxidación pertinentes y la conformidad respecto a contaminantes. Preparar candidatos de oleogel mediante historiales de proceso definidos. Caracterizar las transiciones térmicas, la reología, la retención de aceite y la microestructura. Una formulación debe ser reproducible entre lotes preparados de manera independiente, y no únicamente en una muestra de laboratorio manipulada con especial cuidado.

Etapa III - Rendimiento en la matriz terminada. Ensayar las redes seleccionadas dentro del alimento real, con los polvos de cacao o proteínas previstos, sólidos solubles, emulgentes, cizallamiento de proceso y envase. Definir criterios objetivos de aceptación o rechazo para ciclos térmicos, migración de aceite, procesabilidad y textura. Comparar con una referencia comercial existente y realista. No basta con probar el gel aislado frente a un aceite puro.

Etapa IV - Evaluación sensorial y procesamiento oral. Utilizar paneles descriptivos entrenados para medir atributos como fusión, sensación cerosa, lubricación, liberación de sabor a cacao, pastosidad y regusto, y continuar con pruebas de aceptación por consumidores cuando corresponda. Incluir muestras envejecidas durante almacenamiento, no solo prototipos frescos. El enmascaramiento de la identidad de las formulaciones y el orden aleatorizado de servicio reducirán el sesgo interpretativo.

Etapa V - Estabilidad y seguridad alimentaria. Realizar estudios de vida útil en tiempo real, apoyados, pero no sustituidos, por ensayos acelerados de estrés. Los procesos oxidativos y físicos suelen mostrar dependencias distintas de la temperatura; no debe suponerse un único factor de aceleración. Para geles de emulsión o bigeles, establecer controles de humedad, actividad de agua y microbiología. Utilizar una permeabilidad de envase y condiciones de transporte representativas de la distribución real.

Etapa VI - Validación final nutricional y jurídica. Validar las declaraciones nutricionales del producto terminado, calcular las declaraciones nutricionales comparativas, revisar las denominaciones reservadas y la información sobre ingredientes, y comprobar las normas aplicables de contaminantes en la fecha prevista de lanzamiento. Las decisiones regulatorias deben documentarse frente a la especificación exacta del lote y la fórmula del producto, de forma que un cambio de proveedor no pueda invalidarlas inadvertidamente.

Etapa VII - Economía y escalado industrial. Determinar el coste por kilogramo de producto final comercializable, no solo el coste por kilogramo de aceite de partida. Incluir estructurante, calentamiento y enfriamiento, homogeneización adicional, filtración, secado cuando se utilice, residuos, pérdidas por cambio de producción, controles de calidad, envasado, capacidad de proceso y lotes rechazados. Una fase lipídica técnicamente viable puede resultar comercialmente inferior si requiere un procesado costoso o impone una ventana térmica demasiado estrecha para la línea de producción del cliente.

Tabla 4. Paquete mínimo propuesto de evidencia industrial

Ámbito de evidencia	Mediciones propuestas	Decisión que permite adoptar
Composición lipídica	Perfil de ácidos grasos por GC; caracterización pertinente de TAG; saturados y trans	¿Modifica la formulación la composición nutricional?
Estructura del material	DSC; reología; microscopía; retención y migración de aceite	¿Aporta la red elegida la función física necesaria?
Procesado del producto	Tensión de fluencia a temperatura de proceso; bombeo; solidificación; tolerancia al reprocesado	¿Puede operar el sistema de manera fiable a escala comercial?
Estabilidad oxidativa	Índice de peróxidos y marcadores secundarios apropiados; rancidez sensorial	¿Está respaldada la vida útil para ese aceite y esa matriz?
Comportamiento oral	Tribología, perfil sensorial descriptivo, aceptación del consumidor	¿Resulta agradable el producto tras su reformulación estructural?
Seguridad y legalidad	Contaminantes; autorización de aditivos; situación como nuevo alimento; categoría reservada	¿Puede comercializarse en la UE el material exacto y el producto terminado?

Ámbito de evidencia	Mediciones propuestas	Decisión que permite adoptar
Nutrición y declaraciones	Análisis del producto terminado, comparador, cálculo de umbrales, redacción exacta	¿Es legal y está fundamentada la comunicación prevista?
Escalado y economía	Variabilidad de lotes, capacidad de producción, energía de proceso, residuos y coste unitario final	¿Puede escalarse comercialmente el candidato?

11. Ejemplo práctico de formulación: relleno de cacao con grasas saturadas reducidas

Consideremos unos requisitos industriales ficticios para un relleno de cacao con fase continua oleosa destinado a una barrita u oblea. La formulación existente emplea una grasa plástica sólida y cumple un objetivo definido de extrusión, extensión o dosificación a 30–35 °C, con una vida útil de al menos seis meses. El objetivo no es necesariamente reducir la grasa total, sino disminuir el contenido combinado de ácidos grasos saturados y trans manteniendo la textura y la retención de aceite. Los objetivos numéricos siguientes constituyen criterios ilustrativos de investigación y no representan ninguna formulación existente de INTABIOTECH.

Una serie inicial de cribado podría comparar dos aceites alimentarios con distintos grados de insaturación y comportamiento oxidativo, sujetos a su idoneidad de suministro y normativa, frente a varias redes candidatas. Es preferible un diseño en dos fases. En la primera, se evaluarían concentraciones limitadas de materiales estructurantes claramente admisibles para determinar la tensión de fluencia de la red aislada, la resistencia térmica, la capacidad de retención de aceite y la oxidación. En la segunda, solo los sistemas con mejores resultados se incorporarían al relleno de cacao, manteniendo constantes todos los ingredientes no grasos, la carga de sólidos y las condiciones de procesado. Así se evita que una variabilidad sensorial prematura oculte si la propia fase oleosa posee capacidad tecnológica suficiente.

El comparador no debe ser un simple control compuesto únicamente por aceite. Debe incluir la grasa plástica industrial utilizada actualmente y, si resulta comercialmente útil, otro sistema lipídico ya aceptado. Un ensayo adecuado mediría la firmeza y la untabilidad el día de fabricación y después del almacenamiento a varias temperaturas. La migración de aceite a través de la interfase hacia la oblea o cobertura adyacente debe cuantificarse mediante un método reproducible. Los paneles de consumidores deben examinar productos frescos y almacenados, porque la impresión inicial de cremosidad puede cambiar conforme evolucionan la migración de grasa y la cristalización.

El plan estadístico debe predefinir los criterios principales de funcionalidad del producto, como la migración de aceite o la tensión de fluencia dependiente de la temperatura, antes de examinar resultados nutricionales secundarios. Cada lote experimental debe fabricarse de forma independiente. El análisis debe considerar el lote de procesado como fuente de variabilidad, en lugar de tratar mediciones repetidas del mismo recipiente como réplicas de fabricación independientes. Un modelo de superficie de respuesta puede orientar una optimización posterior, pero solo si se comprueban sus predicciones en lotes nuevos que no se hayan utilizado para ajustar el modelo.

La viabilidad comercial debe incluir un estructurante legalmente disponible y la denominación pertinente del producto. Si la misma red oleosa se destinara, en cambio, a una cobertura de chocolate legalmente definida, el documento de requisitos técnicos exigiría una investigación independiente conforme a la Directiva 2000/36/CE y no una simple transferencia de la receta del relleno cremoso. Esta distinción puede dirigir antes a una empresa hacia un producto comercializable y evitar inversiones en una formulación que no pueda venderse bajo la denominación prevista.

12. Dónde pueden contribuir los métodos computacionales y la inteligencia artificial, y dónde no

La optimización de grasas estructuradas presenta numerosas variables interdependientes: distribución de TAG del aceite, concentración de estructurante, trayectoria de enfriamiento, cizallamiento, contenido de agua,

sólidos no grasos, oxígeno en el envase, condiciones de almacenamiento y preferencias sensoriales. De ellas resulta un espacio de diseño de elevada dimensionalidad, adecuado para el diseño estadístico de experimentos, la modelización mecanística y, eventualmente, el aprendizaje automático. Una plataforma computacional útil podría relacionar descriptores medibles de una red lipídica con resultados del producto, como tensión de fluencia, migración, oxidación y sensación cerosa. Se trata de una aplicación industrial legítima de los métodos multivariantes.

Sin embargo, la escasez de datos constituye un obstáculo importante. Muchos estudios publicados examinan un conjunto limitado de formulaciones, pocos lotes y métodos específicos de producto. Un modelo entrenado con esos datos puede aprender las particularidades del diseño experimental en lugar de una física alimentaria transferible. Combinar conjuntos de datos sin armonizar unidades reológicas, historiales térmicos, composiciones de aceites y escalas sensoriales puede generar asociaciones espurias. Una elevada puntuación de validación cruzada interna resulta especialmente poco convincente cuando muestras relacionadas de un mismo lote aparecen tanto en los subconjuntos de entrenamiento como en los de prueba.

La vía científicamente rigurosa consiste en registrar metadatos estructurados, predefinir un objetivo de rendimiento, separar el entrenamiento y la validación por lotes de fabricación y comprobar la predicción externa en una matriz o instalación adicional. Las restricciones mecanísticas pueden mejorar un modelo: por ejemplo, la conservación de la masa lipídica, los límites de concentración del estructurante, las transiciones térmicas conocidas y la admisibilidad jurídica no deben ignorarse simplemente porque un modelo estadístico prediga una textura favorable. La inviabilidad regulatoria es un criterio de exclusión absoluto, no una penalización económica que pueda compensarse con una elevada puntuación sensorial.

La IA puede acelerar la selección de formulaciones para ensayo; no sustituye la obligación de medir la estabilidad oxidativa, reproducir condiciones industriales reales, determinar la situación jurídica o verificar resultados en humanos. Un uso especialmente prometedor consiste en conectar la incertidumbre experimental con la toma de decisiones: si la mejora prevista en textura es pequeña frente a la variabilidad entre lotes, el siguiente experimento debería centrarse en la reproducibilidad en lugar de anunciar la existencia de una arquitectura lipídica superior.

13. Cuestiones de seguridad más allá del perfil graso esperado

El expediente de seguridad debe contemplar los peligros derivados del material y del proceso completos. Para aceites refinados, los parámetros relevantes pueden incluir límites de contaminantes, estado oxidativo y trazabilidad del proveedor. En el caso de los agentes estructurantes, deben evaluarse la identidad, la pureza, los disolventes residuales cuando proceda, la migración de impurezas de proceso y cualquier condición específica relativa a aditivos o nuevos alimentos. Cuando la oleogelificación directa implique calentamiento, debe estudiarse el perfil real de temperatura y tiempo respecto a los productos de degradación y a la pérdida de protección antioxidante. La ausencia de hidrogenación no demuestra la ausencia de todos los peligros de proceso.

En los geles de emulsión y bigeles, la presencia de una fase acuosa plantea cuestiones adicionales sobre actividad de agua, barreras conservantes, crecimiento microbiano, envasado y contaminación posterior al procesado. Un producto con una fase lipídica oleo-gelificada podría tener poca agua, pero su equivalente rico en agua no puede adoptar los mismos supuestos de vida útil. Del mismo modo, un producto que incorpore una cera vegetal poco habitual no debe describirse como hipoalergénico o exento de alérgenos simplemente porque el aceite principal sea de origen vegetal. Su procedencia, purificación y contaminación cruzada requieren una evaluación adecuada.

La biodegradabilidad, la renovabilidad o una menor presión sobre el uso del suelo son afirmaciones ambientales que requieren pruebas propias. Un aceite de partida puede presentar una huella de carbono, agua o suelo diferente, pero el resultado depende de la agricultura, las condiciones de refinado, el transporte, la energía de

procesado, los residuos y los límites del sistema. Sustituir una grasa tropical fraccionada por un oleogel sometido a un procesado intensivo no supone automáticamente una mejora ambiental. Un análisis del ciclo de vida debe definir la unidad funcional como un rendimiento alimentario equivalente, no simplemente como un kilogramo de aceite bruto, porque las pérdidas por vida útil y el producto rechazado pueden superar una ventaja aparentemente pequeña a nivel de ingrediente.

14. Discusión: la precisión es una exigencia probatoria, no un adjetivo publicitario

El atractivo tecnológico de los oleogeles reside en separar la funcionalidad mecánica de una fracción elevada de grasa sólida. Esa separación es real y puede estudiarse experimentalmente. Permite a las empresas preguntarse si la textura de un producto existente podría recrearse mediante el diseño de redes manteniendo un aceite más insaturado. Pero la formulación resultante sigue moviéndose dentro de un espacio sometido a restricciones estrictas. Puede ser frágil frente a ciclos térmicos, requerir un estructurante sin autorización adecuada para la categoría alimentaria en la UE, oxidarse durante el almacenamiento, perjudicar la fusión en boca o generar costes de fabricación inaceptables. Cualquiera de estos factores puede invalidar la propuesta comercial.

La literatura industrial está pasando del estudio de redes aisladas a investigaciones sobre productos terminados, incluidos los estudios de 2026 sobre confitería y cremas para untar. Es una evolución positiva. Sin embargo, persiste una brecha crítica entre la viabilidad de laboratorio y un rendimiento comercial reproducido de forma independiente. Los estudios a gran escala deben documentar no solo las formulaciones de mejor comportamiento, sino también las condiciones de fallo, la variabilidad entre lotes, la compatibilidad con los equipos y la aceptación del consumidor tras un almacenamiento realista. Los resultados negativos son útiles porque revelan qué combinaciones de composición lipídica y arquitectura de proceso son intrínsecamente inadecuadas.

Para una empresa desarrolladora de ingredientes, un servicio diferenciado no consistiría en vender un «oleogel» genérico. Consistiría en especificar una arquitectura lipídica para el alimento concreto de un cliente: aceite de origen y estructurante legal, atributos críticos del material, comportamiento térmico y mecánico validado, composición nutricional del producto terminado, denominación jurídica, comportamiento sensorial y evidencia de vida útil. Por tanto, la primera ventaja empresarial es metodológica. Una plataforma que sabe cuándo falla un sistema puede resultar más valiosa que otra que exhibe un catálogo extenso de prototipos prometedores sin validación trazable.

La oportunidad en cacao y confitería es especialmente ilustrativa. Un oleogel puede ser apropiado para un relleno cremoso o una cobertura sucedánea sin constituir un sustituto autorizado de la manteca de cacao en categorías reservadas de chocolate. Una mejora nutricional del contenido de grasas saturadas también puede coexistir con una densidad energética inalterada. Ambas distinciones deben comunicarse con precisión. No debilitan la tecnología: delimitan las condiciones en que puede comercializarse responsablemente.

15. Conclusiones

La reinvención de la funcionalidad de las grasas es, fundamentalmente, un problema de arquitectura de materiales. Los oleogeles y las emulsiones estructuradas ofrecen distintas formas de controlar el flujo, la deformación, la retención de aceite y el comportamiento oral de los lípidos alimentarios sin depender exclusivamente de la fracción convencional de grasa sólida. La evidencia de 2026 demuestra que determinados sistemas pueden incorporarse satisfactoriamente a ciertas cremas de confitería, productos para untar y matrices de panificación. No demuestra la sustitución universal de grasas plásticas, un beneficio metabólico clínicamente validado ni una admisibilidad regulatoria automática.

Tres juicios relacionados deben gobernar el siguiente ciclo de desarrollo. Primero, el alimento debe funcionar: la red lipídica debe resistir el procesado, la distribución y el consumo. Segundo, el resultado nutricional debe medirse en el alimento terminado: un aceite de partida favorable no acredita por sí solo una declaración legal de

reducción, una disminución calórica ni un beneficio para la salud. Tercero, el material comercial debe cumplir el Derecho alimentario europeo: las autorizaciones de aditivos específicas del producto, la evaluación de nuevos alimentos cuando corresponda, las normas especiales sobre cacao y chocolate y los requisitos relativos a contaminantes, incluida la modificación de 2026, deben examinarse de forma independiente.

Estas obligaciones apuntan hacia un programa de investigación productivo. Definir la fase grasa por su identidad química y la física de su red; someterla a condiciones de fabricación realistas; cuantificar oxidación y migración durante toda la vida útil; evaluar la experiencia oral en el alimento real; confirmar las características nutricionales del producto terminado; y determinar la legalidad del uso de ingredientes y de la comunicación antes del lanzamiento comercial. Una empresa industrial capaz de conectar estas etapas de forma reproducible estará mejor posicionada para desarrollar sistemas creíbles de reformulación lipídica que otra que se limite a prometer la sustitución de grasa saturada por aceite líquido. El objetivo no es únicamente presentar un etiquetado nutricional más favorable, sino obtener un alimento mejor diseñado cuya evidencia subyacente resista un examen riguroso.

Referencias bibliográficas

Ali, S., Kumar, A., Ali, B., Rani, G., Fadlalmola, H. A., Alghamdi, S., Ali, A., & Zhang, L. (2026). Next-generation structured lipid systems in plant-based meat: Oleogels, emulsion architectures, and sensory optimization. *npj Science of Food*, 10, Article 326. https://doi.org/10.1038/s41538-026-00950-0

Assembly mechanisms and structure design of oleogels and bigels: Digestion, absorption and food application in lipid regulation. (2026). *Food Chemistry*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.149011

Comparative evaluation of functional biscuits prepared with oleogels enriched with orange and cinnamon essential oils: Technological properties, oxidative stability, and sensory quality. (2026). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 128(10), e70154. https://doi.org/10.1002/ejlt.70154

Commission Regulation (EU) 2019/649 of 24 April 2019 amending Annex III to Regulation (EC) No 1925/2006 as regards trans fat. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/649/oj

Commission Regulation (EU) 2026/1825 of 29 July 2026 amending Regulation (EU) 2023/915 as regards maximum levels of 3-MCPD, 3-MCPD fatty acid esters and glycidyl fatty acid esters in certain foods. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2026/1825/oj

Council Directive 2000/36/EC of 23 June 2000 relating to cocoa and chocolate products intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/36/oj

Emulsion-template oleogels: Formation mechanisms, structural regulation, and potential as solid fat substitutes. (2026). *Food Research International*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2026.118864

Ferdaus, M. J., Mahmud, N., Matamoros, J. R., Aragon-Alegro, L. C., & da Silva, R. C. (2026). Structured plant-based oil as healthier alternatives to conventional fats in chocolate cream fillings. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 103(4). https://doi.org/10.1002/aocs.70045

From oleogel structure to product performance: Rice wax- and glyceryl monostearate-based palm oil alternatives for chocolate spreads. (2026). *Journal of Food Science*. https://doi.org/10.1111/1750-3841.71565

A novel approach to reducing saturated fatty acids in filling creams using oleogels with monoglyceride and beeswax. (2026). *Journal of Food Science*, 91(6), e71169. https://doi.org/10.1111/1750-3841.71169

Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj

Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1924/oj

Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/1169/oj

Commission Regulation (EU) No 231/2012 of 9 March 2012 laying down specifications for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No 1333/2008. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2012/231/oj

Commission Regulation (EU) No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2012/432/oj

Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj

Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 of 20 December 2017 establishing the Union list of novel foods. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2017/2470/oj

Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj

Structural engineering of edible oleogels: From molecular assembly to functional food applications. (2026). *Gels*, 12(7), 649. https://doi.org/10.3390/gels12070649

The effect of green tea extract and oleogels on the physico-chemical properties and oxidative stability of short-dough biscuits during storage. (2022). *LWT*, 114197. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114197

Copyright © 2026 José M. López. Todos los derechos reservados.