

PROTEÍNAS LÁCTEAS BAJO PRESIÓN

*Anatomía industrial y económica de la crisis de disponibilidad
y precios de 2025-2026*

Critical review of the 2025-2026 dairy-protein price and supply crisis

José Manuel López, BSc, MD, PhD

Dirección Técnica, INTABIOTECH S.L., España

Artículo de revisión crítica y análisis técnico-económico

Fecha de cierre: 21 de julio de 2026

Manuscrito editorial preparado para revisión científica y publicación técnica

Resumen

El mercado internacional de proteínas lácteas atraviesa en 2026 una dislocación excepcional que no puede interpretarse como una simple extensión de la inflación general de los productos lácteos. La evidencia disponible muestra una escasez selectiva, concentrada en los concentrados y aislados de proteína de suero de alta graduación —especialmente WPC80 y WPI— y, por contagio productivo, en determinadas calidades de WPC34, concentrados de proteína de leche, caseínas y sistemas proteicos funcionales. Mientras varias *commodities* lácteas europeas registraban descensos interanuales acusados en julio de 2026, el suero en polvo aumentaba un 46 %, y las referencias estadounidenses de WPC80 y WPI permanecían en niveles históricamente elevados. Las existencias estadounidenses de concentrado de proteína de suero para uso humano se situaban en mayo de 2026 casi un 20 % por debajo de mayo de 2025 y aproximadamente a la mitad del nivel de mayo de 2023, pese a que la producción mensual no había colapsado. Esta divergencia constituye la clave del fenómeno: el cuello de botella no reside primordialmente en la disponibilidad de leche cruda, sino en la capacidad específica de transformar corrientes de suero en ingredientes con un grado proteico, una funcionalidad, una inocuidad y una consistencia industrial determinadas. Este trabajo integra datos oficiales del USDA, la Comisión Europea y la normativa alimentaria con literatura científica sobre tecnología de proteínas, nutrición, envejecimiento y terapias incretínicas. Se examinan la reasignación de capacidad desde WPC34 hacia WPC80/WPI, la rigidez de las instalaciones de membranas, evaporación y secado, la reducción del inventario libre, la expansión de los alimentos hiperproteicos y la influencia —relevante, aunque no exclusiva— de los agonistas del receptor GLP-1. También se analizan las consecuencias formulativas, nutricionales, analíticas, regulatorias y contractuales. La conclusión principal es que la crisis representa un cambio estructural en la economía de los sólidos lácteos: el mercado ya no remunera solamente el volumen de leche o suero, sino la capacidad de convertirlos de manera fiable en una funcionalidad proteica escasa. La respuesta industrial adecuada exige abandonar la compra puramente transaccional y adoptar una gestión estratégica basada en especificaciones críticas, homologación múltiple, inventarios racionales, diseño modular de formulaciones y verificación reforzada de autenticidad y desempeño.

Palabras clave: proteína láctea; proteína de suero; WPC80; WPI; MPC; ultrafiltración; escasez; precios; reformulación; seguridad de suministro.

Abstract

The global dairy-protein market is undergoing an exceptional dislocation in 2026 that cannot be understood as a mere continuation of broad dairy inflation. Available evidence points to a selective shortage concentrated in high-protein whey fractions—particularly WPC80 and WPI—and, through production-mix spillovers, in certain grades of WPC34, milk protein concentrates, caseins and functional protein systems. While several European dairy commodities were posting pronounced year-on-year price declines in July 2026, whey powder was 46% higher, and United States quotations for WPC80 and WPI remained at historically elevated levels. U.S. inventories of whey protein concentrate for human use in May 2026 were almost 20% below May 2025 and roughly half their May 2023 level, even though monthly output had not collapsed. This divergence is central to the diagnosis: the primary bottleneck is not raw milk availability, but the specific capacity to transform whey streams into ingredients that meet defined protein, functionality, safety and consistency requirements. This critical review triangulates official USDA and European Commission data, food-law sources and peer-reviewed literature on dairy-protein technology, nutrition, ageing and incretin-based therapies. It examines the reallocation of capacity from WPC34 to WPC80/WPI, the rigidity of membrane, evaporation and drying assets, the depletion of uncommitted inventories, the expansion of high-protein foods, and the important—but not exclusive—role of GLP-1 receptor agonists. Formulation, nutritional, analytical, regulatory and contractual implications are discussed. The core conclusion is that the present crisis reflects a structural change in the economics of dairy solids: value is increasingly determined not by the volume of milk or whey alone, but by the scarce industrial ability to convert them reliably into specified protein functionality. Appropriate responses therefore require a shift from transactional purchasing to strategic category management based on critical specifications, multisourcing, rational safety stocks, modular formulation and strengthened verification of identity and performance.

Keywords: dairy protein; whey protein; WPC80; WPI; milk protein concentrate; ultrafiltration; scarcity; pricing; reformulation; supply security.

1. Introducción

La expresión «crisis de la proteína láctea» se ha incorporado con rapidez al lenguaje comercial de 2026. Es comprensible dado que compradores que durante años consideraron el WPC80, el WPI o determinados concentrados de proteína de leche como materias primas relativamente predecibles se han encontrado con precios multiplicados, disponibilidad condicionada por asignaciones, plazos de entrega extendidos y escasa capacidad de negociación en el mercado spot. Sin embargo, la misma expresión encierra un riesgo analítico. La proteína láctea no es una mercancía única, y la leche no es un depósito homogéneo del que pueda extraerse cualquier fracción en cualquier momento. Caseínas, proteínas del suero, concentrados de proteína de leche, aislados, hidrolizados y polvos de suero responden a arquitecturas industriales, mercados y especificaciones diferentes. Un diagnóstico riguroso debe empezar por distinguirlas.

La crisis resulta particularmente llamativa porque coincide con una fase de debilidad relativa en otras áreas del complejo universo lácteo. En julio de 2026, la Comisión Europea comunicaba descensos interanuales muy pronunciados en mantequilla, leche entera en polvo y varios tipos de quesos, mientras el precio medio del suero en polvo aumentaba un 46 %. En Estados Unidos, el Departamento de Agricultura, USDA seguía describiendo los inventarios de WPC80 y WPI como ajustados y situaba las cotizaciones en rangos que, convertidos a unidades métricas, implicaban valores superiores a 27 dólares por kilogramo de WPC80 y cercanos o superiores a 30 dólares por kilogramo de WPI (*European Commission, 2026; United States Department of Agriculture [USDA], Agricultural Marketing Service [AMS], 2026a*). La divergencia desmiente la hipótesis de una inflación láctea indiferenciada y obliga a buscar la explicación en el interior de la cadena de fraccionamiento.

La proteína de suero constituye uno de los ejemplos más exitosos de valorización de coproductos de la industria alimentaria. Durante buena parte del siglo XX, el suero fue considerado un efluente problemático; la combinación de conocimiento bioquímico, tecnologías de membrana, evaporación y secado permitió transformarlo en una familia de ingredientes de elevado valor nutricional y funcional. *Smithers (2008)* describió esta evolución como el tránsito «*from gutter to gold*», una formulación que resume tanto el progreso tecnológico como la nueva dependencia económica creada por ese progreso. El mercado contemporáneo no demanda suero en abstracto, sino que demanda una determinada concentración proteica, baja lactosa, dispersabilidad, sabor, microbiología, estabilidad térmica, origen y comportamiento en matriz. Esa especificidad es precisamente la que hace inelástica la oferta.

La actual tensión se ha atribuido con frecuencia a la expansión de los alimentos «*high protein*», a la nutrición deportiva y, más recientemente, a los tratamientos incretínicos utilizados en obesidad y diabetes. Todas estas fuerzas son relevantes, pero ninguna explica por sí sola la magnitud del movimiento. La demanda ha crecido sobre una infraestructura cuyo aumento requiere años, no meses y una planificación que hasta la fecha ha sido emergente, o simplemente inexistente, tintada por altas dosis de improvisación. Al mismo tiempo, los fabricantes han reasignado capacidad hacia los grados más remuneradores, reduciendo la producción de fracciones intermedias y provocando una escasez secundaria. El mercado ha amplificado el desequilibrio mediante inventarios reducidos, compromisos contractuales, compras preventivas y una limitada fracción spot. El resultado es un fenómeno que combina un choque de demanda con una restricción de conversión industrial y una intensa propagación entre categorías.

Este artículo persigue cuatro objetivos. Primero, delimitar con precisión qué está escaseando y evitar que la discusión mezcle leche, suero en polvo, WPC34, WPC80, WPI, MPC, MPI y caseínas como si fueran equivalentes. Segundo, reconstruir la evidencia cuantitativa disponible a 21 de julio de 2026, fecha de elaboración del presente trabajo, y distinguir señales de precio, producción, inventario y disponibilidad contractual. Tercero, explicar el mecanismo industrial que convierte un aumento de la demanda de fracciones de alta graduación en tensiones sobre productos aparentemente alejados. Finalmente, evaluar las implicaciones para formuladores, responsables de compras, fabricantes, laboratorios y operadores jurídicos, con especial atención a la Unión Europea.

La pretensión no es presentar una predicción infalible. Ningún análisis de un mercado opaco, dominado por contratos bilaterales y especificaciones heterogéneas, puede ofrecerla. El objetivo es más útil y exigente:

construir una interpretación causal compatible con los datos oficiales, con la ciencia de los procesos lácteos y con el comportamiento observado de los agentes. La tesis que se defenderá es que la crisis de 2025-2026 representa una escasez selectiva de capacidad y flexibilidad industrial, no una ausencia general de proteína láctea; y que, por ello, su resolución será más lenta y desigual de lo que sugeriría una simple recuperación de la producción de leche.

2. Enfoque metodológico, fuentes y límites de la evidencia

El trabajo adopta la forma de una revisión crítica de alcance técnico-económico. No constituye una revisión sistemática en sentido PRISMA ni un metaanálisis, porque la pregunta combina magnitudes de mercado en tiempo real, ingeniería de procesos, nutrición y regulación, y porque una parte sustancial de las transacciones de WPC80 y WPI no se publica con el nivel de granularidad necesario para una síntesis estadística convencional. Se ha utilizado una estrategia de triangulación: datos administrativos y de mercado procedentes del Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA) y de la Comisión Europea; normativa alimentaria europea; y literatura científica revisada por pares sobre composición, funcionalidad, fraccionamiento, calidad proteica y necesidades nutricionales.

Las cotizaciones estadounidenses empleadas corresponden a los informes semanales *Dairy Market News* del USDA. Deben entenderse como rangos indicativos de operaciones y ofertas observadas, no como un precio universal. El precio efectivo depende del volumen, la duración contractual, el origen, la planta, la instantización, la granulometría, el perfil microbiológico, la desnaturalización, la solubilidad, el tratamiento térmico, el Incoterm y el historial comercial. Del mismo modo, los precios medios europeos de *commodities* no representan necesariamente el coste de una especificación concreta para un comprador industrial. La comparación es válida para analizar dirección y divergencia, pero no para sustituir una cotización comercial.

La medición de la «escasez» exige combinar variables. Un precio alto puede reflejar escasez, pero también costes o poder de mercado. Un inventario bajo puede ser señal de demanda fuerte, aunque no implique necesariamente interrupción física. Una producción estable puede coexistir con falta de producto libre si la mayor parte está contratada. En este artículo, la escasez se entiende como una situación en la que la cantidad disponible en el plazo, calidad y condiciones contractuales requeridos es insuficiente para satisfacer la demanda al precio histórico o esperado. Es, por tanto, una escasez económica y operativa, no una afirmación de inexistencia absoluta.

Los cálculos derivados —conversiones de dólares por libra a dólares por kilogramo, coste aproximado por kilogramo de proteína y variaciones de inventario— se han realizado sobre los rangos o series oficiales indicados. Se muestran para hacer visible la magnitud económica, pero no incluyen transporte, financiación, aranceles, seguros, almacenamiento, pérdidas, formulación ni margen. En el caso de la comparación por kilogramo de proteína se han utilizado, a efectos ilustrativos, contenidos típicos del 80 % para WPC80 y del 90 % para WPI. Las especificaciones comerciales pueden diferir, y la equivalencia económica no implica equivalencia tecnológica ni nutricional.

La fecha de cierre del presente trabajo es el 21 de julio de 2026. Esta precisión es esencial en un mercado de evolución rápida. Las afirmaciones prospectivas se presentan como escenarios y no como certezas. Se ha evitado extrapolar rumores comerciales o declaraciones promocionales sin respaldo. Cuando se emplean fuentes sectoriales o periodísticas para contextualizar tendencias, se diferencian de la evidencia oficial y de la literatura científica. Esta jerarquía de fuentes permite mantener el carácter editorial del manuscrito sin confundir actualidad con prueba.

3. Qué significa realmente «proteína láctea»

La leche bovina contiene, de manera aproximada, un 3,0-3,5 % de proteína, de la cual alrededor del 80 % corresponde a caseínas y el 20 % a proteínas del suero, aunque las proporciones varían con raza, alimentación, estación, estado de lactación y manejo. Esta división bioquímica se convierte en una división industrial cuando la coagulación separa la cuajada destinada al queso de una fase líquida que retiene lactosa, minerales, agua y

proteínas solubles. A partir de esa corriente se producen polvos de suero, concentrados, aislados y fracciones especializadas. Cada paso modifica composición, rendimiento y funcionalidad (Fox et al., 2015; Walstra et al., 2006).

El suero dulce en polvo, obtenido habitualmente de la fabricación de quesos por coagulación enzimática, contiene una proporción relativamente modesta de proteína y una elevada fracción de lactosa. Su economía y sus aplicaciones no son las de un WPC80. El WPC34 concentra la proteína hasta aproximadamente un tercio del producto; el WPC80 se aproxima al 80 %, y el WPI alcanza, en términos comerciales y sobre materia seca, alrededor del 90 % o más. El aumento de graduación reduce lactosa y otros sólidos, pero exige más superficie de membrana, diafiltración, agua, energía, gestión de permeado y control de proceso. Además, dos ingredientes con igual proteína declarada pueden diferir considerablemente en desnaturalización, dispersabilidad, viscosidad, sabor y comportamiento térmico (de Wit, 1998; Foegeding et al., 2002).

Los concentrados y aislados de proteína de leche se obtienen directamente de leche desnatada mediante fraccionamiento, por lo que conservan una relación caseína/suero más próxima a la leche. Esto les confiere propiedades distintas de las de un concentrado de suero. La caseína micelar aporta estructura, hidratación lenta y sensibilidad a condiciones minerales y térmicas; las proteínas de suero presentan cinéticas de digestión y comportamientos interfaciales diferentes. El MPC y el MPI son ingredientes de alta densidad proteica, pero no sustitutos neutros de WPC80 o WPI. Su solubilidad puede deteriorarse durante almacenamiento, y el aumento del contenido proteico tiende a intensificar problemas de humectación, dispersión y reconstitución si el proceso y el acondicionamiento no están optimizados (Agarwal et al., 2015; Uluko et al., 2016).

Las caseínas y los caseinatos forman otra familia. Pueden ser excelentes emulsificantes y agentes de retención de agua, y resultan indispensables en numerosas matrices, pero su perfil sensorial, mineral, digestivo y térmico no reproduce el de la proteína de suero. Los hidrolizados añaden una dimensión adicional: el grado de hidrólisis altera solubilidad, amargor, osmolaridad y velocidad de absorción. En nutrición infantil o clínica, la selección no puede reducirse a gramos de proteína. Deben considerarse alergenicidad, péptidos, digestibilidad, tolerancia, carga renal de solutos, estabilidad y requisitos normativos específicos.

La terminología comercial añade complejidad. «*Whey protein*» puede referirse a ingredientes de graduación y funcionalidad muy distintas. «Instantizado» describe un tratamiento orientado a mejorar mojabilidad y dispersión, a menudo mediante aglomeración y lecitina, pero no garantiza por sí mismo idéntico rendimiento en todas las matrices. «*Native whey*» designa proteínas obtenidas por fraccionamiento directo de leche, sin pasar por la fabricación de queso, y presenta una historia térmica y composición diferentes. «*Clear whey*» suele aludir a sistemas acidificados y procesados para bebidas transparentes o translúcidas; no es una categoría química única. En un mercado escaso, estas diferencias dejan de ser detalles y se convierten en determinantes de precio y disponibilidad.

Por ello, la afirmación «falta proteína láctea» debe sustituirse por una pregunta más precisa, que no es otra que esta: ¿qué familia, qué graduación, qué origen, qué funcionalidad, para qué aplicación y en qué plazo? En julio de 2026, la respuesta no era idéntica para un WPC34 destinado a alimentación animal, un WPC80 instantizado de baja carga microbiológica, un WPI para bebida ácida clara, un MPC85 para UHT o una caseína ácida para nutrición. La crisis es real, pero su topografía es heterogénea.

Tabla 1. Familias principales de proteínas lácteas e implicaciones de sustitución

Ingrediente	Composición orientativa	Rasgos tecnológicos dominantes	Riesgo al sustituirlo
Suero dulce en polvo	Aproximadamente 10-14 % de proteína; alta lactosa	Aporte de sólidos lácteos, pardeamiento, sabor y funcionalidad limitada como proteína concentrada	No permite mantener una alta densidad proteica sin introducir mucha lactosa y sólidos.
WPC34	Alrededor de 34 % de proteína	Emulsificación, nutrición y aporte de sólidos; equilibrio distinto de lactosa y minerales	Su sustitución por grados superiores cambia sólidos, dulzor, coste y comportamiento en proceso.

Ingrediente	Composición orientativa	Rasgos tecnológicos dominantes	Riesgo al sustituirlo
WPC80	Alrededor de 80 % de proteína	Alta densidad proteica; espumado, emulsificación y gelificación variables según historia térmica	La equivalencia por gramos no garantiza igual solubilidad, sabor o estabilidad.
WPI	Habitualmente ≥ 90 % de proteína sobre materia seca	Baja lactosa y grasa; alta pureza; aplicaciones de bebida y nutrición especializada	Puede perder ventaja si el sistema requiere caseína, grasa o minerales; coste y sensibilidad de proceso elevados.
MPC/MPI	Proteína láctea total concentrada; relación caseína:suero próxima a la leche	Cuerpo, emulsión y densidad proteica; hidratación más lenta	Puede aumentar viscosidad, sedimentación o gelificación en UHT.
Caseína/caseinato	Proteína predominantemente caseínica	Emulsificación, retención de agua y estructura	No reproduce cinética digestiva ni funcionalidad de la fracción de suero.

Nota. Composiciones orientativas; las especificaciones comerciales y los métodos de cálculo pueden variar. Síntesis propia a partir de de Wit (1998), Fox et al. (2015), Lagrange et al. (2015) y Uluko et al. (2016).

4. Evidencia cuantitativa de una dislocación selectiva

La evidencia más persuasiva no es el nivel absoluto de un precio, sino su divergencia respecto de productos que comparten materia prima. Según el *Milk Market Observatory*, en la semana cerrada el 12 de julio de 2026 el suero en polvo de la Unión Europea promediaba 137 euros por 100 kg, un 46 % más que un año antes. En la misma comparación, la mantequilla caía un 47 %, la leche entera en polvo un 24 %, el Cheddar un 29 %, el gouda un 24 %, el Edam un 21 % y el Emmental un 14 %. La leche desnatada en polvo aumentaba un 13 %, un movimiento relevante pero muy inferior al del suero (*European Commission, 2026*). La cadena láctea estaba, por tanto, lejos de una inflación uniforme.

Esta divergencia puede parecer paradójica. Si el precio de la grasa y de varios quesos retrocede, cabría esperar que el coproducto de la fabricación de queso también se abaratase. La conclusión sería razonable si el mercado remunerara únicamente el volumen físico de suero. Pero esto no es así. El valor marginal se concentra en la capacidad de separar, purificar, secar y certificar proteína. El suero líquido puede ser abundante en una región y, al mismo tiempo, escasear el WPC80 de una planta aprobada por un cliente, con el perfil microbiológico y de dispersabilidad necesario. La materia prima inicial y el producto comercial final pertenecen a la misma cadena, pero no al mismo mercado.

En Estados Unidos, el USDA situaba el 16 de julio de 2026 el WPC80 entre 12,50 y 13,00 dólares por libra. Los WPC80 instantizados se negociaban en la parte alta de los 12 dólares y hasta la zona media de los 13 dólares por libra. Para WPI, las referencias se situaban aproximadamente desde la zona media de los 13 dólares hasta la zona media de los 14. El informe señalaba que la demanda global seguía siendo fuerte, que los inventarios de WPC80 permanecían ajustados y que las existencias de WPI se habían endurecido. También describía una disponibilidad spot limitada de WPC34, en parte porque los fabricantes habían desplazado capacidad hacia proteínas de mayor concentración (USDA AMS, 2026a).

La conversión métrica permite apreciar la magnitud. Un WPC80 a 12,50-13,00 dólares por libra equivale aproximadamente a 27,56-28,66 dólares por kilogramo de ingrediente. Con un contenido ilustrativo del 80 %, el coste implícito se aproxima a 34,45-35,83 dólares por kilogramo de proteína. Un WPI a 13,50-14,50 dólares por libra equivale a 29,76-31,97 dólares por kilogramo de ingrediente; al 90 % de proteína, representa 33,07-35,52 dólares por kilogramo de proteína. El estrechamiento del coste por unidad de proteína entre WPC80 y WPI es una anomalía económica importante. No convierte ambos ingredientes en intercambiables, pero muestra hasta qué punto la prima histórica por mayor purificación ha sido absorbida por la escasez relativa del WPC80.

Las series de existencias refuerzan el diagnóstico. Los inventarios estadounidenses de concentrado de proteína de suero para consumo humano —en el agregado estadístico de 25 a 89,9 % de proteína— alcanzaban

44,979 millones de libras en mayo de 2026. Un año antes eran 55,818 millones, de modo que la reducción interanual era cercana al 19,4 %. Frente a mayo de 2023, cuando se registraban 88,961 millones de libras, la caída rondaba el 49,4 %. La producción de mayo de 2026, sin embargo, fue de 42,359 millones de libras, ligeramente superior a mayo de 2025. La imagen no es la de una industria que haya dejado de fabricar, sino la de una producción que no logra reconstruir inventarios frente a la absorción de la demanda (*USDA, National Agricultural Statistics Service [NASS], 2026*).

La distinción entre flujo y stock es decisiva. La producción mensual describe el producto elaborado; las existencias describen el colchón disponible al final del periodo. Un mercado puede funcionar con producción estable mientras el stock cae, siempre que las salidas superen de manera persistente las entradas. Durante un tiempo, el comprador percibe solamente mayor firmeza de precios. Cuando el inventario se aproxima a niveles operativos mínimos, el problema cambia de naturaleza: aparecen asignaciones, rechazo de pedidos pequeños, ampliación de plazos, reducción del crédito y preferencia por clientes históricos.

También debe distinguirse el inventario físico del inventario comercialmente libre. Una tonelada almacenada puede estar comprometida por contrato, reservada para una formulación infantil, pendiente de liberación analítica o destinada a un cliente prioritario. Los informes agregados no revelan esta estructura. Por ello, una disminución estadística del 19 % puede traducirse en una contracción mucho mayor del producto realmente disponible en spot. Esta es una de las razones por las que las cotizaciones marginales pueden moverse con más violencia que el volumen total.

La previsión estadounidense de leche añade otra pieza. En junio de 2026, el USDA proyectaba 236.400 millones de libras de producción de leche para el conjunto del año y 237.000 millones para 2027. La posibilidad de que el volumen de leche aumente mientras continúan tensas las proteínas de alta graduación parece contradictoria sólo si se omite la capacidad de conversión. La leche adicional no se transforma automáticamente en WPC80 o WPI. Debe pasar por fabricación de queso o por fraccionamiento directo, y después por activos industriales cuya utilización ya es elevada (*USDA, Economic Research Service [ERS], 2026*).

Tabla 2. Indicadores de mercado seleccionados a julio de 2026

Indicador	Dato observado	Lectura técnica
WPC80, Estados Unidos	12,50-13,00 USD/lb	Precio spot excepcional; inventarios descritos como ajustados.
WPI, Estados Unidos	Aproximadamente 13,50-14,50 USD/lb	Demanda fuerte; mayor frecuencia de operaciones en torno a 14 USD/lb.
WPC34, Estados Unidos	1,63-2,18 USD/lb	Disponibilidad spot reducida por reasignación de plantas hacia grados superiores.
Existencias WPC EE. UU., mayo 2026	44,979 millones de lb	−19,4 % frente a mayo de 2025; −49,4 % frente a mayo de 2023.
Suero en polvo, UE	137 EUR/100 kg; +46 % interanual	Tensión específica frente a la debilidad de otras commodities.
Mantequilla, UE	388 EUR/100 kg; −47 % interanual	Evidencia de que no existe inflación uniforme del complejo lácteo.
Leche desnatada en polvo, UE	270 EUR/100 kg; +13 % interanual	Subida moderada en comparación con el suero.

Nota. Datos de USDA AMS (2026a), USDA NASS (2026) y European Commission (2026). Las referencias son indicativas y no sustituyen cotizaciones contractuales por especificación.

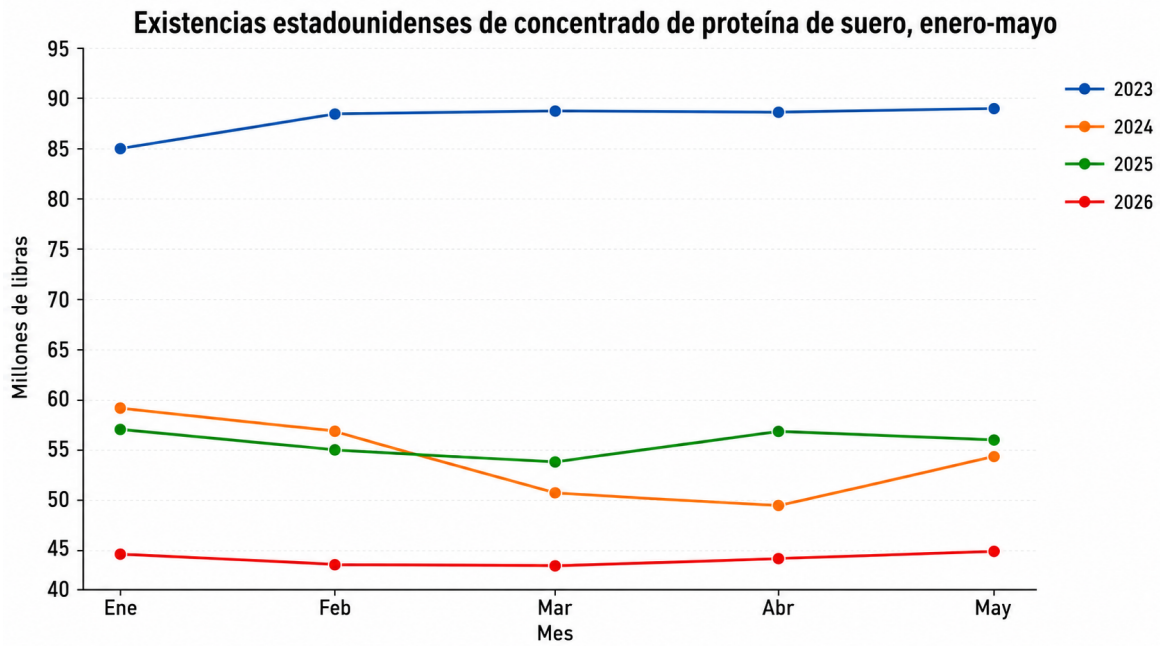


Figura 1. Evolución de las existencias estadounidenses de concentrado de proteína de suero para uso humano, enero-mayo de 2023-2026.

Nota. Elaboración propia con datos de USDA NASS (2026).

La figura 1 permite observar que el ajuste no comienza en una única semana de 2026. La reducción del colchón de inventario se desarrolla durante varios ejercicios y alcanza en 2026 un nivel persistentemente inferior. La ausencia de una recuperación clara entre enero y mayo, pese a una producción mensual razonablemente estable, sugiere que el mercado estaba absorbiendo el flujo disponible casi a medida que se generaba. Esta situación limita la capacidad de responder a perturbaciones, averías, mantenimientos o picos de demanda.

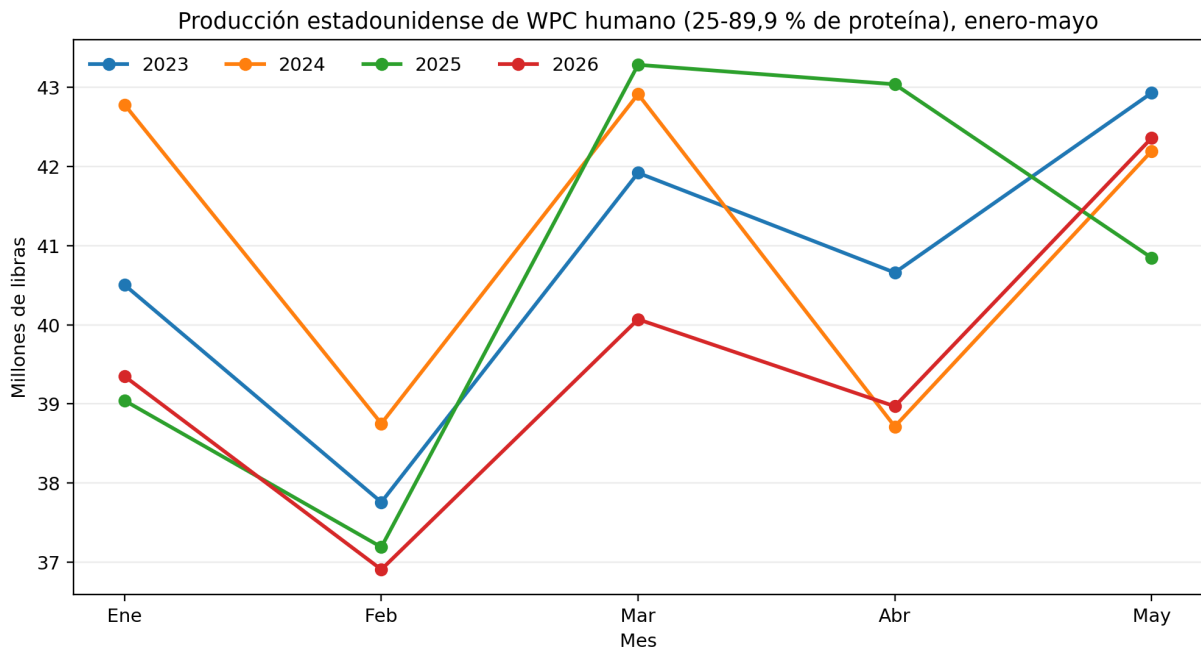


Figura 2. Producción estadounidense de concentrado de proteína de suero para uso humano (25-89,9 % de proteína), enero-mayo de 2023-2026.

Nota. Elaboración propia con datos de USDA NASS (2026).

La comparación entre las figuras 1 y 2 es central: no se observa un derrumbe proporcional de la producción. La crisis se explica mejor como una combinación de absorción elevada, composición del *mix* y

escasez de capacidad marginal que como una desaparición del output total. Además, el agregado estadístico reúne graduaciones diferentes y puede ocultar una contracción mayor en productos concretos.

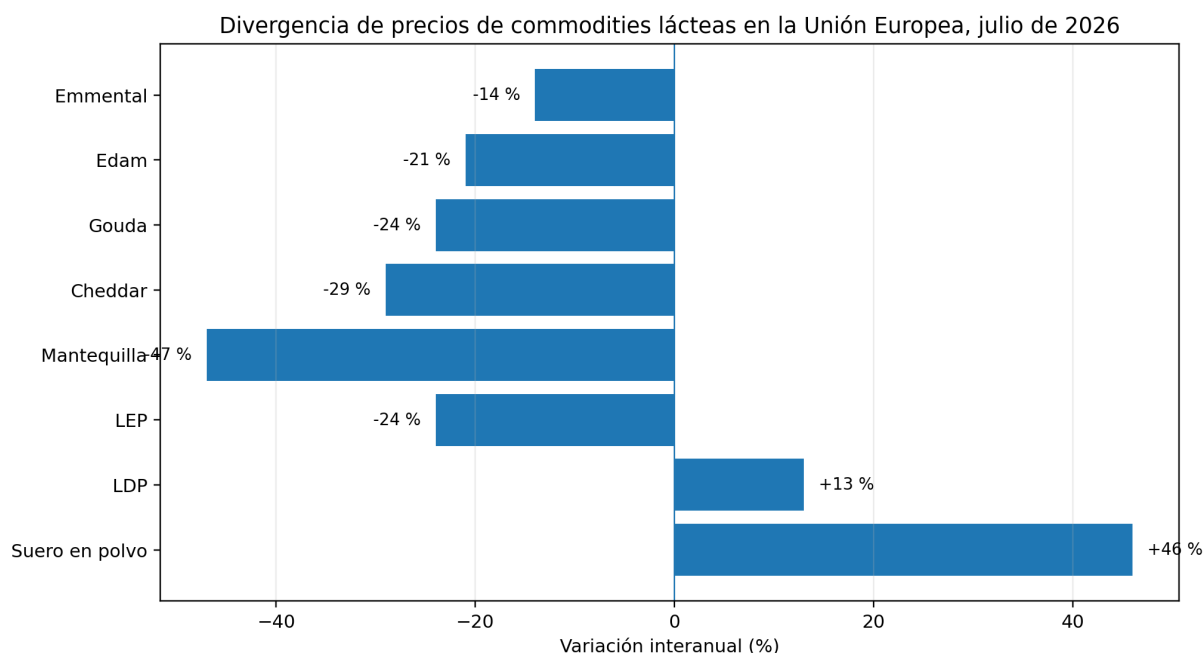


Figura 3. Variación interanual de precios de commodities lácteas de la Unión Europea en julio de 2026.

Nota. Elaboración propia con datos del Milk Market Observatory (European Commission, 2026). LDP: leche desnatada en polvo; LEP: leche entera en polvo.

5. Anatomía industrial del cuello de botella

El suministro de proteína de suero es una cadena de conversiones dependientes. En el modelo más extendido, la leche se destina a queso; la coagulación retiene caseína y grasa en la cuajada y genera suero. Esta corriente debe recogerse con rapidez, separar finos y grasa, pasteurizarse o tratarse de acuerdo con el diseño de planta y llegar a la sección de membranas en condiciones compatibles con la calidad final. La composición y la historia térmica del suero condicionan el rendimiento. Un incremento de leche no aporta proteína de suero comercial si no existe demanda y capacidad para fabricar queso, o una vía alternativa de fraccionamiento directo.

La ultrafiltración separa, por tamaño y propiedades de transporte, una corriente retenida rica en proteína y un permeado que contiene principalmente lactosa, minerales, agua y compuestos de bajo peso molecular. Para alcanzar graduaciones elevadas se requiere diafiltración, es decir, lavado controlado del retenido con agua para eliminar más componentes permeables. Cuanto mayor es la pureza objetivo, mayor es la exigencia de membranas, agua de calidad, limpieza CIP, tiempo de operación y gestión del permeado. El rendimiento no es lineal y la concentración final depende de la selectividad, la polarización, el ensuciamiento y la estabilidad microbiológica.

Tras la separación, el concentrado debe evaporarse y secarse. Los evaporadores reducen el agua con menor consumo energético que un secador, pero tienen límites de viscosidad, estabilidad térmica y ensuciamiento. La torre de atomización transforma el concentrado en polvo, y su capacidad puede constituir el verdadero cuello de botella aun cuando las membranas dispongan de margen. El secado de un WPI o de un WPC80 no es idéntico al de un suero convencional. La alimentación, temperatura, tamaño de gota, residencia, humedad final y aglomeración afectan a solubilidad, densidad, sabor y estabilidad.

La instantización introduce otra restricción. El polvo fino puede presentar mala mojabilidad y formar grumos. La aglomeración crea partículas porosas de mayor tamaño, y la adición de lecitina mejora la interacción con el agua. Estas operaciones requieren equipos y tiempo adicionales. En productos destinados a consumidores, la facilidad de dispersión no es un atributo cosmético: determina experiencia de uso y puede

condicionar la aceptación. En 2026, las primas observadas para WPC80 instantizado reflejaban que la escasez no afectaba sólo al kilogramo de proteína, sino a su presentación funcional.

La capacidad nominal de una planta rara vez equivale a capacidad comercialmente utilizable. Deben descontarse mantenimientos, limpiezas, cambios de campaña, paradas microbiológicas, tiempos de estabilización, lotes fuera de especificación y restricciones aguas abajo. El eslabón limitante puede ser el permeado: concentrar más proteína genera más lactosa y minerales que deben valorizarse o tratarse. Si el mercado de lactosa o permeado es débil, o si la planta carece de capacidad de cristalización, secado o tratamiento de efluentes, la economía del aumento de proteína se deteriora.

Los proyectos de ampliación son intensivos en capital y sujetos a permisos. Requieren ingeniería, suministro de equipos, construcción, automatización, tratamiento de agua, energía, validación higiénica y homologación por clientes. En aplicaciones de nutrición infantil, clínica o exportación, la entrada efectiva puede retrasarse incluso después de la puesta en marcha física. La consistencia entre lotes, la trazabilidad y el historial microbiológico se construyen con tiempo. Por ello, una señal de precio puede activar inversiones, pero no genera una respuesta inmediata de oferta.

La localización geográfica también importa. El suero líquido contiene gran cantidad de agua y es costoso transportarlo a largas distancias; la concentración debe realizarse cerca de las queserías o mediante redes logísticas muy eficientes. Una región puede disponer de secadores, pero no del volumen o calidad de suero adecuados; otra puede generar suero y carecer de membranas. La capacidad global no es completamente fungible. El producto debe, además, cumplir requisitos sanitarios y de exportación del mercado de destino.

El fenómeno puede resumirse con una formulación sencilla: el recurso escaso no es exclusivamente la proteína molecular presente en la leche, sino la suma de materia prima apta, activos de separación, activos térmicos, capacidad de secado, gestión de coproductos, tiempo de planta, validación y acceso comercial. La suma es mucho menos elástica que cualquiera de sus componentes por separado.

La disponibilidad final depende de una cadena de capacidades, no sólo del volumen de leche

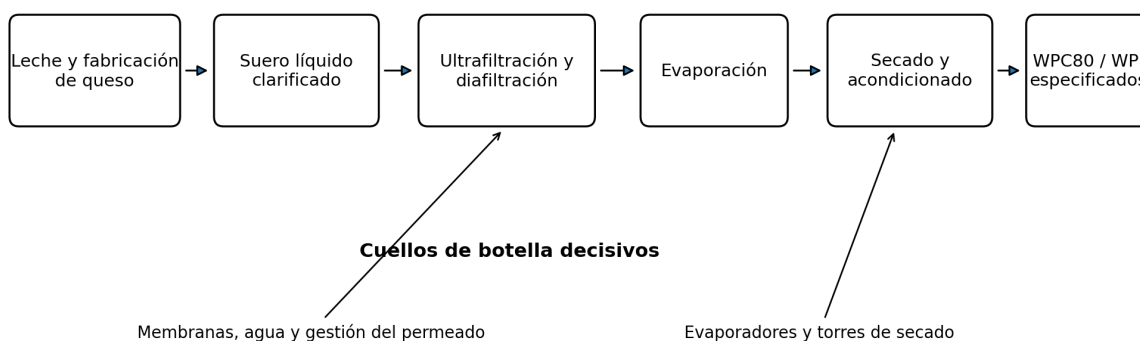


Figura 4. Cadena simplificada de conversión del suero en proteínas de alta graduación y principales cuellos de botella.

Nota. Elaboración propia.

6. Reasignación del *mix* productivo y propagación de la escasez

Cuando el precio relativo de WPC80 y WPI aumenta, la respuesta racional del fabricante es dedicar la capacidad flexible a los productos de mayor margen. Esta decisión mejora el resultado de la planta, pero reduce la oferta de grados intermedios. En julio de 2026, el USDA señalaba que la disponibilidad spot de WPC34 era difícil y que parte de la producción se había desplazado hacia concentraciones superiores. El

episodio ilustra una forma de escasez que no nace de la demanda directa del producto afectado, sino de la reasignación de activos compartidos (USDA AMS, 2026a).

El mecanismo tiene varias etapas. Primero, la demanda de WPC80/WPI eleva su precio y absorbe inventario. Segundo, las plantas modifican campañas para maximizar el valor por hora de membrana y secador. Tercero, disminuye WPC34, y sus compradores buscan sustitutos o aceptan precios más altos. Cuarto, los compradores que no consiguen WPC80 migran hacia MPC, MPI, caseinatos o mezclas lácteo-vegetales. La presión se transmite a categorías que inicialmente podían estar equilibradas. La escasez se convierte así en una red de desplazamientos, no en una cola lineal.

La propagación se intensifica cuando las especificaciones son rígidas. Un fabricante de bebidas claras no puede aceptar sin más un MPC; un alimento infantil no puede cambiar de planta sin homologación; una referencia «sin lactosa» no puede sustituir WPI por un WPC con lactosa residual elevada. El universo de sustitutos técnicamente admisibles es mucho menor que el universo de polvos con nitrógeno. Cuanto más especializada es la aplicación, menor es la elasticidad de sustitución y mayor la prima de escasez.

La concentración de la industria añade otra dimensión. Las plantas capaces de producir de forma consistente proteínas de alta graduación y calidad exportable son limitadas. Los clientes estratégicos suelen contratar volúmenes anuales o plurianuales, y los nuevos entrantes compiten por el remanente. Cuando el mercado spot se estrecha, su precio deja de representar el coste medio de producción y pasa a reflejar el valor de la última tonelada disponible. Esta diferencia explica por qué dos compradores pueden recibir ofertas muy distintas en la misma semana.

Los inventarios bajos amplifican el comportamiento defensivo. Un comprador que teme quedarse sin materia prima aumenta la cobertura; el proveedor, al observar mayor interés, protege el producto para contratos prioritarios; el distribuidor reduce la validez de sus ofertas; el fabricante de producto terminado compra antes de necesitar. Parte de la demanda observada es, por tanto, demanda de seguridad. No es ficticia: responde a un riesgo real de interrupción, pero adelanta consumo y eleva la tensión presente.

La posterior estabilización puede ser engañosa. Si los precios dejan de subir porque los compradores retrasan lanzamientos o consumen inventarios internos, no necesariamente se ha creado nueva capacidad. Puede haberse producido destrucción de demanda o una pausa de reposición. La normalización auténtica exigiría reconstrucción sostenida de existencias, reducción de plazos, mayor número de oferentes y recuperación de la competencia en calidades comparables.

7. La transformación de la demanda proteica

La oferta rígida no habría generado una crisis de esta magnitud sin una transformación profunda de la demanda. Durante décadas, las proteínas de suero estuvieron asociadas sobre todo a nutrición deportiva, alimentación infantil, clínica y determinados usos tecnológicos. Hoy aparecen en bebidas listas para consumir, cafés, yogures, postres, helados, panes, cereales, snacks y productos de control de peso. La proteína se ha convertido simultáneamente en nutriente, argumento de saciedad, señal de estilo de vida y atributo de elemento “premium”.

La nutrición deportiva continúa siendo importante, pero su frontera se ha difuminado. El consumidor ya no necesita identificarse como culturista para comprar un batido de 20 o 30 gramos de proteína. La actividad física recreativa, el envejecimiento activo y la preocupación por la masa muscular han ampliado la base. La literatura científica respalda que la suplementación proteica puede mejorar, en contextos adecuados, las adaptaciones al entrenamiento de fuerza, aunque el efecto depende de la ingesta total, la edad, el estímulo y el estado nutricional (Morton et al., 2018). La traducción comercial de este conocimiento ha sido mucho más amplia que el ámbito clínico original.

El envejecimiento demográfico introduce una demanda potencialmente más estable. La pérdida de masa y función muscular afecta autonomía, riesgo de caída y calidad de vida. Grupos expertos han propuesto ingestas superiores a la recomendación mínima para muchas personas mayores, especialmente en presencia de enfermedad, inmovilidad o ejercicio, aunque la cifra óptima debe individualizarse (Bauer et al., 2013; Deutz et

al., 2014). La proteína de suero, por su contenido en aminoácidos indispensables y leucina y por su digestión relativamente rápida, ha sido estudiada en este contexto. Un metaanálisis reciente encontró beneficios modestos de suplementación con suero, con o sin vitamina D, sobre algunas medidas relacionadas con sarcopenia, pero también heterogeneidad y dependencia del diseño de intervención (Nasimi et al., 2023).

La nutrición clínica y especializada tiene menor volumen que el gran consumo, pero mayor rigidez de especificación. Fórmulas para recuperación, oncología, fragilidad o soporte nutricional no pueden reformularse sólo por precio. En ellas importan osmolaridad, tolerancia, composición aminoacídica, densidad energética, estabilidad y evidencia. Además, los requisitos regulatorios y la validación de proveedores son más exigentes. Una tonelada absorbida por esta categoría puede tener un efecto desproporcionado sobre el inventario libre porque queda vinculada a contratos estables y no retorna al spot.

Los agonistas del receptor GLP-1 y otras terapias incretínicas han añadido un acelerador. Estos medicamentos reducen apetito e ingesta energética y producen pérdidas de peso clínicamente relevantes. Una revisión sistemática y metaanálisis en red estimó que la reducción de masa magra podía representar, en promedio, aproximadamente una cuarta parte de la pérdida total, aunque la magnitud varía entre ensayos y los métodos de composición corporal no miden exclusivamente músculo contráctil (Karakasis et al., 2025). Este dato ha reforzado la atención a la proteína, al entrenamiento de fuerza y a la densidad nutricional durante el tratamiento.

La relación entre GLP-1 y demanda de suero debe, sin embargo, formularse con prudencia. No existe una equivalencia automática entre número de pacientes y toneladas de WPC80. Las recomendaciones dietéticas pueden satisfacerse con alimentos convencionales, proteínas de distintas fuentes y patrones individualizados. Además, el riesgo de pérdida de masa magra no justifica una suplementación indiscriminada. El asesoramiento conjunto de organizaciones médicas y de nutrición publicado en 2025 insiste en calidad de dieta, proteína adecuada, hidratación, micronutrientes y actividad física, no en un único ingrediente (Mozaffarian et al., 2025).

El impacto comercial de las terapias incretínicas es indirecto y multiplicador. Han creado una categoría de productos de porción pequeña, alta densidad proteica y comunicación específica; han atraído inversión de grandes empresas; y han reforzado la narrativa cultural de que la proteína es el nutriente prioritario durante la pérdida de peso. Este efecto se suma a tendencias anteriores. Por ello, es más correcto hablar de un ecosistema de demanda —deporte, envejecimiento, conveniencia, saciedad, clínica y GLP-1— que de una causa única.

También existe un componente de innovación defensiva. Cuando las marcas observan crecimiento en productos hiperproteicos, incorporan proteína para no quedar fuera de la categoría. Parte de esta incorporación tiene una justificación nutricional clara; otra responde principalmente a posicionamiento. La disponibilidad barata de WPC y WPI facilitó durante años esa expansión. Los precios de 2026 obligan a discriminar: una dosis que aportaba valor comercial marginal puede dejar de ser rentable, mientras una formulación clínica o deportiva esencial absorbe el coste. La crisis funciona así, como mecanismo de selección entre usos.

La demanda no es completamente inelástica. Los consumidores pueden reducir frecuencia, migrar a alimentos convencionales o aceptar proteínas vegetales. Las marcas pueden disminuir gramos por porción o elevar precios. Sin embargo, la sustitución toma tiempo porque implica reformulación, pruebas sensoriales, estabilidad, etiquetado y comunicación. En el corto plazo, la reacción es más lenta que la subida de la materia prima. Esta asimetría explica por qué el precio puede aumentar mucho antes de que desaparezca la demanda.

8. Transmisión internacional y regionalización del mercado

El mercado de proteínas lácteas es global, pero la materia prima y la capacidad están regionalizadas. Estados Unidos, la Unión Europea y Oceanía concentran una parte importante de la producción exportable. Cuando aumenta la absorción interna en una región, los compradores internacionales no eliminan su necesidad; la trasladan. Una reducción de disponibilidad estadounidense puede aumentar la demanda sobre plantas europeas, y el arbitraje se produce hasta el límite impuesto por logística, homologación, aranceles, sanidad y especificaciones.

El comercio de WPC80 y WPI no es equivalente al de una *commodity* completamente estandarizada. Una empresa china, europea o latinoamericana puede requerir origen determinado, certificaciones, ausencia de sustancias concretas, estándares de alimentación infantil o documentación religiosa. El cambio de proveedor implica más que comparar precio FOB. Las barreras de homologación retrasan el arbitraje y permiten que persistan diferencias regionales.

El tipo de cambio y el coste financiero amplifican la transmisión. Una cotización en dólares puede encarecerse adicionalmente para un comprador en euros o en moneda latinoamericana; el pago anticipado inmoviliza capital; el aumento de valor por contenedor eleva seguro y exposición. La necesidad de mantener más inventario de seguridad aumenta el coste financiero por kilogramo. En empresas pequeñas, este efecto puede ser tan relevante como la subida nominal.

La logística, aunque menos crítica que durante las perturbaciones pandémicas, continúa influyendo. El producto de alta graduación concentra mucho valor en poco volumen, por lo que el flete representa una proporción menor que en suero convencional, pero los retrasos tienen mayor coste de oportunidad. Además, el mercado puede exigir transporte controlado, protección frente a humedad y trazabilidad de lotes. La escasez de una referencia no se resuelve simplemente localizando cualquier polvo en otro continente.

La regionalización también afecta a la respuesta de inversión. Nuevas queserías en Estados Unidos pueden aumentar la disponibilidad de suero, pero sólo si incorporan o conectan capacidad de fraccionamiento. Una ampliación europea puede destinarse a contratos asiáticos antes de aliviar el mercado local. La capacidad física y la disponibilidad comercial no coinciden necesariamente. Esta es otra razón por la que el anuncio de una planta no debe interpretarse como normalización inmediata.

9. Formación de precios: por qué el WPC80 puede dispararse mientras cae la mantequilla

El precio de una proteína de alta graduación se forma en la intersección de varios mercados. La leche genera grasa, caseína, proteína de suero, lactosa, minerales y agua. La rentabilidad de una planta depende de la combinación de ingresos y costes de todas estas fracciones. Una caída de la mantequilla puede reducir el valor de la grasa sin liberar automáticamente proteína de suero. Del mismo modo, un precio débil del queso puede limitar la expansión de la quesería, restringiendo la generación de suero, aunque el WPC80 sea caro.

El valor del WPC80 no deriva sólo de la proteína contenida, sino de la capacidad escasa usada para concentrarla. Cuando una torre está saturada, el coste de oportunidad de producir WPC34 es el margen que se deja de obtener fabricando WPC80 o WPI. El precio mínimo aceptable del producto de menor graduación aumenta, o la planta abandona temporalmente su fabricación. Esta lógica explica la tensión simultánea en WPC34 descrita por el USDA.

La opacidad contractual favorece saltos. Gran parte del volumen se negocia mediante acuerdos anuales, fórmulas de precio o asignaciones. El mercado spot contiene el residuo. Cuando ese residuo es pequeño, una variación limitada de demanda produce un movimiento amplio del precio marginal. No debe inferirse que toda la industria paga el máximo spot; tampoco debe minimizarse su relevancia, porque es el precio que afronta quien necesita volumen adicional o carece de cobertura.

El contenido de proteína declarado puede inducir comparaciones incompletas. El coste por kilogramo de proteína es útil, pero omite la calidad funcional. Un WPI con excelente solubilidad y baja lactosa puede aportar más valor que un WPC80 en una bebida clara; un MPC puede ser superior en una bebida cremosa; un caseinato puede emulsionar mejor en una matriz grasa. El precio correcto es el coste por unidad de función lograda, incluida la estabilidad y la aceptación sensorial.

La estructura de costes también ha cambiado. Energía, agua, tratamiento de efluentes, membranas, químicos CIP, mano de obra y financiación influyen. Sin embargo, la divergencia observada en 2026 no puede atribuirse sólo a costes: si así fuera, el patrón sería más homogéneo entre productos lácteos. La evidencia apunta a una prima de escasez y a una remuneración extraordinaria de la capacidad de conversión.

Finalmente, las expectativas importan. Si los compradores creen que la tensión persistirá, aceptan contratos más largos y precios elevados; si esperan una caída, retrasan compras. La información incompleta produce oscilaciones. Por ello, la empresa debe separar el análisis del mercado de la urgencia comercial del día. Una oferta válida durante 24 horas puede ser real, pero no constituye por sí sola una tendencia. La decisión debe apoyarse en inventarios, cobertura, criticidad y coste de interrupción.

10. Consecuencias formulativas: la no equivalencia de las proteínas

El aumento de precio transforma un problema de compras en un problema de tecnología alimentaria. Una sustitución aparentemente sencilla puede alterar viscosidad, solubilidad, color, sabor, estabilidad térmica, espuma, emulsión, gelificación y vida útil. Las proteínas son macromoléculas sensibles a pH, fuerza iónica, temperatura, cizalla y estado de hidratación. La etiqueta «80 % proteína» no describe por sí sola cómo se comportará el ingrediente.

En bebidas neutras UHT, las interacciones entre caseína, proteínas del suero y minerales determinan estabilidad. Sustituir WPC80 por MPC aumenta la proporción caseínica y puede elevar viscosidad o favorecer sedimentación si la hidratación es incompleta. El tratamiento térmico induce desnaturalización de proteínas de suero e interacción con κ -caseína; el equilibrio de calcio y fosfato influye en agregación. Una fórmula estable a escala piloto puede desarrollar gelificación durante almacenamiento si no se estudian historia térmica, pH y sales.

En bebidas ácidas claras, la exigencia es distinta. Se busca baja turbidez, sabor limpio y estabilidad cerca o por debajo del punto isoelectrico de muchas proteínas. Los WPI o sistemas de «*clear whey*» se seleccionan por comportamiento específico. Un WPC con más grasa, lactosa o minerales puede aumentar turbidez y sedimentación. Una proteína vegetal puede introducir color y notas sensoriales incompatibles. La sustitución requiere reformular el sistema completo, no reemplazar kilogramo por kilogramo.

En polvos instantáneos, mojabilidad y dispersión son críticas. Un ingrediente más barato puede necesitar mayor lecitina, aglomeración o instrucciones de uso menos convenientes. La densidad aparente modifica llenado y tamaño de envase. La higroscopicidad afecta apelmazamiento. La estabilidad de aromas y grasas puede variar. Si el consumidor percibe grumos o espuma indeseada, el ahorro de materia prima se convierte en pérdida de calidad.

Las proteínas vegetales ofrecen una vía de diversificación, pero presentan su propia ingeniería. La proteína de guisante puede aportar notas verdes, amargor, astringencia y sedimentación; la soja ofrece buena funcionalidad y calidad aminoacídica, aunque es alérgeno y puede entrar en conflicto con determinados posicionamientos; el arroz suele tener solubilidad menor y textura más arenosa. El procesamiento, la materia prima y el lote influyen enormemente. No existe una «proteína vegetal» genérica (Gorissen et al., 2018; van Vliet et al., 2015).

La clara de huevo posee alta calidad proteica y propiedades de gelificación y espuma, pero introduce alérgeno y una respuesta térmica intensa. El colágeno hidrolizado es soluble y puede ser útil en productos combinados, pero su perfil de aminoácidos no equivale al de una proteína completa y no debe utilizarse como sustituto silencioso cuando el objetivo nutricional depende de aminoácidos indispensables. Las mezclas multifuente permiten compensar limitaciones, aunque aumentan la complejidad analítica, sensorial y de etiquetado.

El coste de reformulación debe incluir ingredientes auxiliares, aromas enmascarantes, hidrocoloides, enzimas, sales, homogeneización, tiempos de hidratación, pérdidas, ensayos, validación de vida útil, cambios de etiqueta y riesgo de rechazo. La comparación correcta no es «precio del WPC80 frente a precio del guisante», sino coste total del producto conforme. Una alternativa puede ser 30 % más barata por kilogramo y terminar siendo más cara por ración vendible.

Una estrategia robusta utiliza diseño de experimentos. Se definen respuestas críticas —solubilidad, viscosidad, sedimentación, color, sabor, digestibilidad, estabilidad— y se exploran mezclas y condiciones de proceso. El objetivo no es imitar exactamente el ingrediente escaso, sino conservar la promesa del producto

con una arquitectura técnicamente defendible. En ocasiones, la mejor respuesta es reducir la proteína declarada y mejorar el alimento; en otras, mantener la dosis y aceptar un precio mayor.

La sustitución debe respetar la identidad sensorial. En productos consolidados, una variación pequeña de sabor lácteo, dulzor o cuerpo puede ser detectada. Los consumidores de nutrición deportiva están acostumbrados a perfiles específicos de suero; quienes compran bebidas clínicas pueden ser especialmente sensibles por náuseas o falta de apetito. La urgencia de suministro no elimina el riesgo reputacional de una reformulación precipitada.

Tabla 3. Alternativas de reformulación y principales compromisos

Alternativa	Ventaja potencial	Compromiso tecnológico o nutricional	Verificación prioritaria
MPC/MPI	Mantiene origen lácteo y alta densidad proteica	Más caseína; hidratación lenta; riesgo de viscosidad o gelificación	Reconstitución, minerales, UHT y estabilidad de almacenamiento.
Caseinatos	Emulsificación y retención de agua	Perfil sensorial y digestivo distinto; no reproduce la fracción de suero	Emulsión, sabor, sodio/calcio y declaración.
Guisante	Diversificación y posicionamiento vegetal	Notas verdes, astringencia, sedimentación y variabilidad entre proveedores	Sensorial, solubilidad, aminoácidos y estabilidad.
Soja	Buena calidad proteica y funcionalidad	Alérgeno, percepción de mercado y sabor	Alergenos, origen, tratamiento térmico y aceptación.
Arroz	Perfil comercial útil y complementariedad	Solubilidad y textura potencialmente limitantes	Granulometría, dispersión y perfil aminoacídico.
Clara de huevo	Alta calidad proteica; espuma y gel	Alérgeno y fuerte respuesta térmica	Pasteurización, textura, sabor y etiquetado.
Colágeno hidrolizado	Alta solubilidad y facilidad de uso	No es nutricionalmente equivalente a proteína completa	Perfil de aminoácidos y coherencia de claims.
Mezcla multifuente	Optimización de coste, aminoácidos y función	Mayor complejidad formulativa, analítica y regulatoria	Diseño de mezclas, vida útil y comunicación al consumidor.

Nota. La idoneidad depende de la matriz, el proceso y la población objetivo; no existe sustitución universal.

11. Calidad nutricional y pertinencia clínica

La crisis de precios no debe conducir a una visión fetichista de la proteína de suero ni, en sentido contrario, a su sustitución indiscriminada. La proteína de suero es valiosa por su digestibilidad, contenido de aminoácidos indispensables y leucina y cinética posprandial. Estudios en adultos mayores han mostrado una respuesta de síntesis proteica muscular superior a la de caseína o caseína hidrolizada en condiciones experimentales concretas (Pennings et al., 2011). Sin embargo, el beneficio clínico depende del contexto: ingesta total, distribución, energía, ejercicio, enfermedad y adherencia.

La calidad proteica no puede resumirse en nitrógeno total. Las fuentes difieren en aminoácidos limitantes y digestibilidad ileal. Las mezclas vegetales pueden diseñarse para complementar perfiles, y un alimento convencional bien formulado puede satisfacer necesidades sin WPI. La comparación debe atender a la población. En un adulto sano con dieta suficiente, sustituir parte del suero puede ser irrelevante; en una persona mayor con baja ingesta, una fórmula pequeña y palatable puede tener importancia clínica.

El auge de los tratamientos GLP-1 ha intensificado la comunicación sobre masa muscular. La pérdida de masa magra durante adelgazamiento no es exclusiva de estos fármacos y no equivale siempre a pérdida funcional. El ejercicio de fuerza, el aporte energético y proteico y la progresión clínica deben evaluarse de forma conjunta. Presentar un batido de suero como solución aislada sería científicamente excesivo. La evidencia disponible apoya una estrategia nutricional integral y adaptada (Karakasis et al., 2025; Mozaffarian et al., 2025).

La industria tiene una responsabilidad particular cuando desarrolla fórmulas para condiciones como la vulnerabilidad, sarcopenia o enfermedad. La presión de coste no justifica rebajar calidad aminoacídica sin documentar equivalencia, ni aumentar colágeno para mantener una cifra de proteína total que oculta un cambio funcional. La declaración legal puede seguir siendo correcta y, aun así, la promesa clínica deteriorarse. La integridad del producto exige conectar especificación con propósito de uso.

También debe evitarse la sobre-proteinización. Más proteína no es siempre mejor, y el desplazamiento de fibra, frutas, vegetales o grasas de calidad puede empobrecer la dieta. En enfermedad renal, hepática u otras condiciones, la recomendación requiere supervisión. Una crisis de suministro puede ofrecer una oportunidad para revisar productos cuya dosis se definió por marketing y no por necesidad. La innovación responsable distingue entre densidad proteica útil y simple inflación de *claims*.

12. Autenticidad, especificaciones y riesgo de fraude

Los precios extremos aumentan el incentivo para adulteración, sustitución no declarada y comercialización de lotes fuera de especificación. Esto no permite afirmar que el fraude haya aumentado de forma general, pero sí modifica el riesgo. Cuando la diferencia de valor entre WPC80 y proteínas o compuestos nitrogenados más baratos se amplía, el beneficio potencial de una manipulación crece. La respuesta debe ser analítica y documental, no alarmista.

La determinación de proteína por nitrógeno total —Kjeldahl o Dumas— es esencial, pero insuficiente para establecer identidad. El Reglamento (UE) n.º 1169/2011 utiliza, con carácter general, un factor de conversión de 6,25 para la declaración nutricional. Este enfoque mide nitrógeno y lo transforma en proteína estimada; no identifica por sí mismo la fuente ni descarta toda forma de nitrógeno no proteico. Un programa de autenticidad debe combinar métodos según riesgo.

El perfil de aminoácidos permite evaluar coherencia con la fuente esperada. La electroforesis, la cromatografía y la espectrometría de masas pueden identificar proteínas o péptidos característicos. La lactosa, grasa, humedad, cenizas y minerales ayudan a comprobar el balance de composición. La solubilidad, dispersabilidad, densidad aparente y comportamiento térmico verifican la función. En aplicaciones críticas, el análisis microbiológico debe incluir no sólo criterios legales, sino límites de cliente y tendencias de planta.

La homologación no debe detenerse en el distribuidor. Es necesario conocer fabricante, planta, país, proceso, trazabilidad, política de cambios y subcontratación. En mercados escasos, puede aparecer la tentación de cambiar de origen manteniendo una ficha comercial similar. La cláusula de notificación de cambio es, por tanto, fundamental. Un certificado de análisis conforme no demuestra que el lote sea equivalente en uso.

La inspección sensorial y la prueba en matriz conservan valor. Un WPC80 puede cumplir proteína y microbiología y presentar mayor sabor cocido, oxidado o salado; un WPI puede desarrollar espuma o turbidez incompatibles. La liberación basada únicamente en COA externaliza el riesgo al producto terminado. La empresa debe definir qué atributos son críticos y qué variación es tolerable.

La presión de precio también puede degradar términos contractuales: menor validez de oferta, pago anticipado, tolerancias amplias o ausencia de garantía de origen. Estos cambios no son fraude, pero transfieren riesgo. El responsable técnico debe participar en la compra para impedir que una urgencia comercial convierta una materia prima no equivalente en una especificación aceptada por defecto.

13. Implicaciones regulatorias en la Unión Europea

La reformulación por escasez no suspende las obligaciones de información. El Reglamento (CE) n.º 1924/2006 permite la declaración «fuente de proteínas» cuando al menos el 12 % del valor energético del alimento procede de proteínas y «alto contenido de proteínas» cuando la proporción alcanza el 20 %. Mantener los gramos por porción no garantiza mantener el porcentaje energético si cambian carbohidratos, grasa o tamaño de ración. Cada reformulación requiere recálculo.

El Reglamento (UE) n.º 1169/2011 exige que la información no induzca a error sobre naturaleza, identidad, composición, cantidad o propiedades. Una mezcla no puede presentarse de modo que el consumidor crea que está compuesta exclusivamente por proteína de suero si incorpora otras fuentes relevantes. La lista de ingredientes, el orden cuantitativo y, cuando proceda, la indicación cuantitativa deben, todos ellos, reflejar la realidad.

La sustitución puede introducir o eliminar alérgenos. Leche, huevo y soja figuran entre las sustancias de declaración obligatoria. Cambiar WPI por soja o clara de huevo afecta etiqueta, gestión de alérgenos, validación de limpieza y comunicación. Las expresiones «sin lactosa» o similares exigen especial cuidado: un WPC puede contener más lactosa que un WPI, y la conformidad depende de criterios aplicables y del control analítico.

En alimentos para usos médicos especiales, preparados infantiles y categorías reguladas por el Reglamento (UE) n.º 609/2013 y actos delegados, la flexibilidad es menor. La composición responde a requisitos específicos y al uso bajo supervisión médica. La equivalencia nutricional y la seguridad deben demostrarse. Un cambio de proveedor puede requerir validación ampliada e incluso evaluación de impacto regulatorio.

Las declaraciones de propiedades saludables no pueden extrapolarse de la proteína en general a efectos terapéuticos no autorizados. La comunicación vinculada a GLP-1, masa muscular o pérdida de peso debe evitar promesas medicinales. La proteína contribuye al crecimiento y mantenimiento de la masa muscular dentro del marco de declaraciones autorizadas, pero un producto alimenticio no puede presentarse como prevención de la pérdida muscular causada por un medicamento sin respaldo jurídico específico.

La documentación debe conservar la historia de la decisión: motivo del cambio, evaluación de riesgos, especificaciones comparadas, ensayos, aprobación, etiqueta y seguimiento. En un litigio, retirada o auditoría, esta trazabilidad demuestra que la empresa actuó con diligencia. La escasez puede explicar la decisión empresarial, pero no excusa una información engañosa o una validación insuficiente.

14. Gestión empresarial y contractual de una materia prima estratégica

La proteína de alta graduación debe dejar de gestionarse como una compra rutinaria. La primera tarea es clasificar las referencias por criticidad: aquellas en las que el suero define la eficacia nutricional o la funcionalidad; aquellas donde es sustituible con desarrollo; y aquellas en las que responde principalmente a posicionamiento. Esta clasificación evita dedicar el mismo esfuerzo a todos los productos y permite reservar volumen para los usos de mayor valor.

La homologación múltiple es la principal defensa frente a la dependencia, pero debe realizarse antes de la crisis. Dos WPC80 de igual proteína pueden comportarse de manera distinta. La homologación requiere prueba de laboratorio, piloto, industrial y vida útil según riesgo. Mantener una segunda fuente sin compras puede ser insuficiente si el proveedor no reserva capacidad; en ocasiones conviene distribuir volumen para preservar la relación comercial.

La cobertura contractual debe equilibrar seguridad y flexibilidad. Un contrato de largo plazo reduce exposición spot, pero puede fijar un precio elevado si el mercado corrige. Una estrategia razonable combina volumen base garantizado, una fracción indexada, opciones de aumento y un componente spot limitado. El índice elegido debe guardar relación con el producto. Vincular un MPC a WPC80 sin justificación puede trasladar una prima ajena.

Las cláusulas técnicas son tan importantes como el precio. Deben definir planta, origen, especificación, límites microbiológicos, métodos, tolerancias, notificación de cambios, derecho de auditoría, trazabilidad, sustituciones y responsabilidad. La fuerza mayor no debería convertirse en una cláusula abierta de asignación unilateral. La empresa necesita saber qué volumen está realmente garantizado y qué ocurre si el proveedor prioriza a otro cliente.

El inventario de seguridad debe calcularse por riesgo, no por intuición. Debe considerar plazo de reposición, variabilidad de consumo, número de proveedores, estabilidad del polvo, coste financiero,

capacidad de almacenamiento y coste de parada. Un producto caro no debe almacenarse indefinidamente, pero la ausencia de stock puede costar mucho más que su financiación. El modelo óptimo cambia cuando el plazo pasa de semanas a meses.

La inteligencia de mercado debe integrar señales heterogéneas: precios spot, inventarios, producción, anuncios de capacidad, paradas, exportaciones, demanda de queso y comportamiento de sustitutos. Ningún indicador aislado es suficiente. La caída de mantequilla no predice WPC80; el aumento de leche no garantiza WPI; un anuncio de planta no implica producto homologado. La ventaja competitiva reside en interpretar la cadena completa.

Finalmente, la comunicación interna debe ser honesta. Compras no puede prometer que el precio volverá pronto a niveles históricos; I+D no debe afirmar que cualquier proteína es sustituible; marketing no debe conservar *claims* incompatibles con la nueva fórmula; finanzas debe incorporar el coste de capital e inventario. La crisis exige una gobernanza transversal que conecte ciencia, regulación, operaciones y mercado.

15. Escenarios 2026-2028

El escenario central es de tensión persistente con estabilizaciones parciales. Los precios pueden dejar de aumentar al ritmo observado en el primer semestre de 2026 por resistencia de compradores, reformulación y aplazamiento de lanzamientos. Sin embargo, la reconstrucción de inventarios requiere que la producción supere de forma sostenida a la demanda y que la nueva capacidad se convierta en producto comercial homologado. Ninguna de estas condiciones se cumple de manera inmediata.

Un escenario de relajación más rápida requeriría destrucción significativa de demanda, aumento de producción de queso y suero, mejora de rendimientos, entrada anticipada de capacidad y sustitución eficaz. La caída podría empezar en el spot antes de trasladarse a contratos. Aun así, es improbable que todas las calidades se normalicen a la vez. Los WPI y WPC de especificación exigente pueden mantener primas incluso si el suero convencional se abarata.

El escenario adverso combinaría crecimiento de alimentos hiperproteicos, mayor penetración de terapias incretínicas, problemas operativos en plantas, retrasos de inversión y nuevas compras preventivas. En ese caso, la tensión se extendería con más fuerza a MPC/MPI, caseínas y proteínas vegetales de alta calidad. La sustitución elevaría el precio de alternativas y reduciría la ventaja inicialmente esperada.

Existe además un escenario de segmentación permanente. La capacidad nueva podría abastecer grandes contratos, mientras compradores pequeños continúan pagando una prima por flexibilidad. El mercado se dividiría entre volumen programado y spot caro. Esta estructura es plausible porque la inversión favorece plantas de gran escala y clientes capaces de comprometerse. Para las pymes, la solución no sería esperar una vuelta completa al pasado, sino organizar compras cooperativas, distribuidores solventes y formulaciones menos dependientes.

Los principales indicadores de normalización serán la recuperación de existencias, la reducción de plazos, la reapertura de ofertas a clientes nuevos, la disminución de primas por instantización y la reaparición de WPC34 sin necesidad de sacrificar campañas de WPC80. También será relevante observar si el crecimiento de leche se traduce en queso y si las nuevas plantas disponen de suficiente capacidad de membranas y secado. Un descenso aislado de cotización no bastará.

Desde una perspectiva estratégica, conviene trabajar con un rango y no con una cifra puntual. Los presupuestos deben incorporar sensibilidad a precio, disponibilidad y tipo de cambio. Los proyectos nuevos deberían demostrar viabilidad en un escenario de proteína cara. Formular un producto que sólo es rentable con WPC80 a precios de 2023 equivale a incorporar un supuesto probablemente obsoleto.

16. Discusión

La crisis de 2025-2026 revela una característica general de las cadenas alimentarias avanzadas: la abundancia de una materia prima primaria no garantiza la disponibilidad de un ingrediente altamente

especificado. A medida que la industria añade valor mediante fraccionamiento, pureza y funcionalidad, el cuello de botella se desplaza desde el campo hacia activos de conversión. El mercado deja de remunerar sólo moléculas y remunera capacidad validada.

Esta interpretación concilia hechos que de otro modo parecen incompatibles: aumento previsto de producción de leche, debilidad de mantequilla y queso, producción mensual de WPC relativamente estable, inventarios bajos y precios extremos de WPC80/WPI. No hay contradicción si el flujo adicional no alcanza la fracción demandada o si la capacidad está comprometida. La escasez es selectiva y se manifiesta en el margen.

También obliga a revisar el concepto de sustitución. Desde la contabilidad nutricional, varias fuentes pueden aportar veinte gramos de proteína; desde la tecnología, la clínica y el derecho, no son idénticas. La reformulación responsable debe decidir qué atributos pueden cambiar y cuáles forman parte de la promesa esencial. Esta distinción evita tanto el inmovilismo —suponer que sólo existe una proteína válida— como la trivialización —suponer que toda proteína es equivalente.

La crisis puede acelerar innovaciones útiles: mejores mezclas, recuperación de coproductos, eficiencia de membranas, proteínas fermentativas y diseño de alimentos menos dependientes de una fracción. Pero también puede fomentar mensajes exagerados y sustituciones opacas. La dirección dependerá de la calidad de la gobernanza y de la transparencia de las especificaciones.

El análisis presenta límites. Los rangos spot no representan todos los contratos; las estadísticas agregan graduaciones; el mercado carece de transparencia completa; y las tendencias pueden cambiar después de la fecha de cierre. Sin embargo, la convergencia entre precios, inventarios, comentarios oficiales y lógica industrial ofrece una base sólida para la conclusión principal. La crisis no es una ilusión narrativa, sino que en realidad es una restricción real de disponibilidad económica y técnica en segmentos definidos.

17. Conclusiones

El incremento extraordinario de los precios de la proteína láctea en 2025-2026 no puede explicarse por una única causa ni describirse correctamente como falta general de leche. La evidencia apunta a una escasez selectiva de proteínas de alta graduación y determinadas especificaciones funcionales. El núcleo es industrial: capacidad limitada de membranas, diafiltración, evaporación, secado, gestión de permeado y validación. La demanda ha crecido más deprisa que esa infraestructura y ha reducido inventarios hasta niveles que magnifican cualquier necesidad marginal.

La reasignación de plantas hacia WPC80 y WPI ha transmitido la tensión a WPC34 y otros ingredientes. El crecimiento de nutrición deportiva, envejecimiento saludable, alimentos de conveniencia y productos asociados a terapias incretínicas ha ampliado el mercado. Los GLP-1 son un acelerador relevante, pero no la explicación exclusiva. La divergencia respecto a mantequilla, leche entera en polvo y quesos demuestra que se trata de una crisis específica de fraccionamiento y valor funcional.

Para la industria, la consecuencia es inequívoca: comprar más caro no es el único riesgo. También lo son no disponer de producto, aceptar una planta no homologada, reformular sin equivalencia, deteriorar la promesa nutricional o incumplir la etiqueta. La respuesta debe integrar compras, I+D, calidad, regulación, finanzas y marketing. La proteína de alta graduación se ha convertido en una categoría estratégica.

La sustitución puede ser correcta y, en algunos casos, mejorar el producto. Pero debe basarse en coste funcional, diseño experimental, calidad aminoacídica y validación de vida útil. El uso de una fuente más barata para conservar una cifra de proteína sin conservar su función constituye una falsa economía. Del mismo modo, la insistencia en WPI donde no aporta una ventaja demostrable desperdicia un recurso escaso.

La normalización será reconocible no sólo por una caída de precio, sino por reconstrucción de inventarios, plazos más cortos, oferta a nuevos compradores y recuperación de flexibilidad productiva. Hasta entonces, la gestión prudente exige cobertura contractual, múltiples fuentes, inventarios calculados y fórmulas modulares. La crisis actual no es un episodio aislado de inflación: es una señal de que el valor económico se ha desplazado hacia la capacidad de convertir sólidos lácteos en funcionalidad proteica fiable.

Declaraciones editoriales

Financiación. Este trabajo no ha recibido financiación externa específica.

Conflicto de intereses. El autor desarrolla su actividad profesional en el ámbito de los ingredientes alimentarios, la tecnología de alimentos y la formulación. No existe patrocinio específico de fabricantes de proteína láctea para este manuscrito.

Disponibilidad de datos. Los datos agregados utilizados proceden de fuentes públicas identificadas en las referencias. Los cálculos derivados pueden reproducirse a partir de las cifras indicadas.

Contribución del autor. Conceptualización, análisis, interpretación, redacción y revisión: José M. López.

Nota de alcance. El manuscrito analiza información disponible hasta el 21 de julio de 2026. Las cotizaciones pueden variar según especificación, volumen, contrato, procedencia y condiciones comerciales.

Referencias

- Agarwal, S., Beausire, R. L. W., Patel, S., & Patel, H. (2015). Innovative uses of milk protein concentrates in product development. *Journal of Food Science*, 80(S1), A23-A29. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12807>
- Bauer, J., Biolo, G., Cederholm, T., Cesari, M., Cruz-Jentoft, A. J., Morley, J. E., Phillips, S., Sieber, C., Stehle, P., Teta, D., Visvanathan, R., Volpi, E., & Boirie, Y. (2013). Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: A position paper from the PROT-AGE Study Group. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(8), 542-559. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.05.021>
- de Wit, J. N. (1998). Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science*, 81(3), 597-608. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75613-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75613-9)
- Deutz, N. E. P., Bauer, J. M., Barazzoni, R., Biolo, G., Boirie, Y., Bosy-Westphal, A., Cederholm, T., Cruz-Jentoft, A., Krznarić, Z., Nair, K. S., Singer, P., Teta, D., Tipton, K., & Calder, P. C. (2014). Protein intake and exercise for optimal muscle function with aging: Recommendations from the ESPEN Expert Group. *Clinical Nutrition*, 33(6), 929-936. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.04.007>
- European Commission. (2026, July 15). EU averages of main dairy commodities. Milk Market Observatory. https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/413a6600-3082-4a9a-82a0-b9f6048b5449_en?filename=eu-dairy-commodity-prices_en.pdf
- European Parliament and Council of the European Union. (2006). Regulation (EC) No 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, L 404, 9-25. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1924/oj>
- European Parliament and Council of the European Union. (2011). Regulation (EU) No 1169/2011 on the provision of food information to consumers. *Official Journal of the European Union*, L 304, 18-63. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/1169/oj>
- European Parliament and Council of the European Union. (2013). Regulation (EU) No 609/2013 on food intended for infants and young children, food for special medical purposes, and total diet replacement for weight control. *Official Journal of the European Union*, L 181, 35-56. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/609/oj>
- Foegeding, E. A., Davis, J. P., Doucet, D., & McGuffey, M. K. (2002). Advances in modifying and understanding whey protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 13(5), 151-159. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00111-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00111-5)
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). *Dairy chemistry and biochemistry* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2>
- Gorissen, S. H. M., Crombag, J. J. R., Senden, J. M. G., Waterval, W. A. H., Bierau, J., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. C. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 50, 1685-1695. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>
- Karakasis, P., Patoulas, D., Fragakis, N., & Mantzoros, C. S. (2025). Effect of glucagon-like peptide-1 receptor agonists and co-agonists on body composition: Systematic review and network meta-analysis. *Metabolism*, 164, 156113. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2024.156113>
- Lagrange, V., Whitsett, D., & Burris, C. (2015). Global market for dairy proteins. *Journal of Food Science*, 80(S1), A16-A22. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12801>
- Morton, R. W., Murphy, K. T., McKellar, S. R., Schoenfeld, B. J., Henselmans, M., Helms, E., Aragon, A. A., Devries, M. C., Banfield, L., Krieger, J. W., & Phillips, S. M. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *British Journal of Sports Medicine*, 52(6), 376-384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>
- Mozaffarian, D., Agarwal, M., Aggarwal, M., Alexander, L., Apovian, C. M., Bindlish, S., Bonnet, J., Butsch, W. S., Christensen, S., Gianos, E., Gulati, M., Gupta, A., Horn, D., Kane, R. M., Saluja, J., Sannidhi, D., Stanford, F. C., & Callahan, E. A. (2025). Nutritional priorities to support GLP-1 therapy for obesity: A joint advisory from the American College of Lifestyle

- Medicine, the American Society for Nutrition, the Obesity Medicine Association, and The Obesity Society. *Obesity*, 33(8), 1475-1503. <https://doi.org/10.1002/oby.24336>
- Nasimi, N., Sohrabi, Z., Nunes, E. A., Sadeghi, E., Jamshidi, S., Gholami, Z., Akbarzadeh, M., Faghieh, S., Akhlaghi, M., & Phillips, S. M. (2023). Whey protein supplementation with or without vitamin D on sarcopenia-related measures: A systematic review and meta-analysis. *Advances in Nutrition*, 14(4), 762-773. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.05.011>
- Pennings, B., Boirie, Y., Senden, J. M. G., Gijzen, A. P., Kuipers, H., & van Loon, L. J. C. (2011). Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 93(5), 997-1005. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.008102>
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From “gutter-to-gold”. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Uluko, H., Liu, L., Lv, J.-P., & Zhang, S.-W. (2016). Functional characteristics of milk protein concentrates and their modification. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(7), 1193-1208. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.758625>
- United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. (2026a, July 16). Whey protein concentrate—Central and West U.S. (Report 29). *Dairy Market News*. https://www.ams.usda.gov/mnreports/ams_1053.pdf
- United States Department of Agriculture, Economic Research Service. (2026, June 17). Livestock, dairy, and poultry outlook: June 2026 (LDP-M-384). <https://www.ers.usda.gov/media/29232/ldp-m-384.pdf?v=52184>
- United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. (2026, July 2). Dairy products: July 2026. https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/dary0726.pdf
- van Vliet, S., Burd, N. A., & van Loon, L. J. C. (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. *The Journal of Nutrition*, 145(9), 1981-1991. <https://doi.org/10.3945/jn.114.204305>
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy science and technology* (2nd ed.). CRC Press.