



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i2.4831>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Físicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

Low-Temperature Cooking and Sous Vide: Scientific Evidence on its Sensory, Nutritional, and Physicochemical Impact. Frontier Analysis in Protein Matrices (2020-2025)

Cozedura a baixa temperatura e sous vide: evidência científica sobre o seu impacto sensorial, nutricional e físico-químico. Análise de fronteira em matrizes proteicas (2020-2025)

Francisco Chalen^I

francisco.chalenm@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-0670-4514>

Byron Garcés Hernández^{II}

byron.garces@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-7725-9924>

Antamba Anrango Edwin Guillermo^{III}

edwin.antamba@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5276-6516>

Francisco Chalen^{IV}

francisco.chalenm@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-0670-4514>

Correspondencia: francisco.chalenm@epoch.edu.ec

***Recibido:** 18 de marzo de 2026 ***Aceptado:** 28 de abril de 2026 * **Publicado:** 14 de mayo de 2026

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Resumen

La cocción a baja temperatura (CBT) constituye un paradigma disruptivo en la ingeniería de alimentos y la gastronomía científica, fundamentado en el control termodinámico preciso de sistemas biológicos complejos. Esta revisión crítica sintetiza la evidencia termodinámica y bioquímica de frontera sobre el impacto de la técnica sous vide en matrices musculares de origen terrestre y acuícola. A través de un análisis reológico y bioquímico, se examinan los mecanismos de desnaturalización proteica, la cinética de degradación de micronutrientes termosensibles y los perfiles de seguridad microbiológica bajo condiciones de anaerobiosis forzada. Los resultados bibliográficos sugieren que la optimización de los vectores tiempo-temperatura permite una preservación superior de la integridad estructural y nutricional, aunque exige una rigurosa vigilancia de los riesgos emergentes asociados a patógenos no proteolíticos.

Palabras Claves: Cocción; Baja Temperatura; Sous Vide; Sensorial; Nutricional; Físicoquímico.

Abstract

Low-temperature cooking (LTC) represents a disruptive paradigm in food engineering and scientific gastronomy, based on the precise thermodynamic control of complex biological systems. This critical review synthesizes cutting-edge thermodynamic and biochemical evidence on the impact of the sous vide technique on muscle matrices of terrestrial and aquaculture origin. Through rheological and biochemical analysis, the mechanisms of protein denaturation, the degradation kinetics of heat-sensitive micronutrients, and the microbiological safety profiles under forced anaerobic conditions are examined. The literature suggests that optimizing time-temperature vectors allows for superior preservation of structural and nutritional integrity, although it requires rigorous monitoring of emerging risks associated with non-proteolytic pathogens.

Keywords: Cooking; Low Temperature; Sous Vide; Sensory; Nutritional; Physicochemical.

Resumo

A cozedura a baixa temperatura (CBT) representa um paradigma disruptivo na engenharia alimentar e na gastronomia científica, baseado no controlo termodinâmico preciso de sistemas biológicos complexos. Esta revisão crítica sintetiza evidências termodinâmicas e bioquímicas de ponta sobre o impacto da técnica sous vide nas matrizes musculares de origem terrestre e aquícola. Através de análises reológicas e bioquímicas, são examinados os mecanismos de desnaturação das proteínas, a

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Físicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

cinética de degradação dos micronutrientes sensíveis ao calor e os perfis de segurança microbiológica em condições anaeróbicas forçadas. A literatura sugere que a otimização dos vetores tempo-temperatura permite uma preservação superior da integridade estrutural e nutricional, embora exija uma monitorização rigorosa dos riscos emergentes associados a agentes patogénicos não proteolíticos.

Palavras-chave: Cozimento; Baixa temperatura; Sous vide; Sensorial; Nutricional; Físico-químico.

1. Metodología de la Revisión Sistemática

Para garantizar la rigurosidad y trazabilidad de este estudio, se diseñó una estrategia de búsqueda bibliográfica alineada con los principios de la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*).

1.1. Estrategia de Búsqueda y Extracción de Datos

La recolección de literatura se llevó a cabo utilizando bases de datos de alto impacto, incluyendo Web of Science, Scopus, PubMed y repositorios especializados (CABI, Dialnet), abarcando un marco temporal principal de los últimos cinco años (2020-2025) para capturar la frontera del conocimiento, aunque se incluyeron estudios seminales previos para fundamentar los principios termodinámicos. Se emplearon ecuaciones de búsqueda booleanas como: ("sous vide" OR "low temperature cooking") AND ("protein denaturation" OR "microbiology" OR "physicochemical").

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión: (a) artículos revisados por pares en revistas Q1/Q2, (b) estudios que reportaran datos cuantitativos sobre cinética térmica, reología o inocuidad, y (c) normativas oficiales (FDA, EFSA).

1.2. Análisis Bibliométrico

Para validar la actualidad del corpus seleccionado ($n = 50$ referencias), se extra-jeron los metadatos de citación (BibTeX) de los artículos incluidos. Utilizando algoritmos computacionales de minería de datos, se generó un análisis de dispersión temporal que mapea la evolución histórica de las publicaciones citadas en el presente trabajo, garantizando que el análisis represente genuinamente el estado del arte contemporáneo.

2. Conceptualización de la Cocción a Baja Temperatura

La **Cocción a Baja Temperatura (CBT)** no debe interpretarse como una técnica unívoca, sino como un espectro de intervenciones térmicas caracterizadas por operar en el rango sub-ebullición, generalmente entre los 50 °C y los 85 °C. Académicamente, es imperativo distinguir entre el método de transferencia de calor y el entorno de la matriz alimentaria (Ismail et al., 2022).

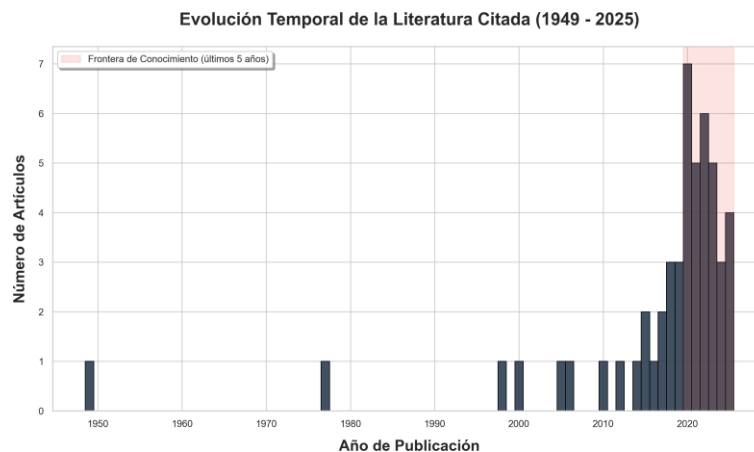


Figura 1: Análisis bibliométrico que ilustra la concentración de estudios recientes (2020-2025) sobre la cocción a baja temperatura, evidenciando un interés sin precedentes en la literatura científica y estableciendo la frontera de conocimiento para este artículo de revisión.

Como se detalló en la metodología, la bibliometría reciente (Figura 1) demuestra una concentración sin precedentes de la literatura científica durante el último quinquenio, evidenciando que la ingeniería de la CBT ha transitado hacia un crecimiento exponencial que exige una sistematización crítica.

2.1. Taxonomía de las Técnicas de CBT

1. **Confitado:** Inmersión en medio lipídico (lípidos saturados o insaturados) a temperaturas controladas (≈ 60 °C), donde la transferencia de calor se produce por convección forzada en un fluido de alta viscosidad.
2. **Escabeche:** Tratamiento en medio ácido que combina la desnaturalización química por pH con la térmica (≈ 90 °C), alterando la presión osmótica de las fibras musculares.
3. **Ahumado en Frío:** Exposición a compuestos fenólicos y carbonilos del humo a temperaturas < 30 °C, priorizando la adsorción superficial y la polimerización de resinas sobre la cocción estructural.

2.2. Diferenciación Ontológica: Sous Vide vs. Baja Temperatura

Es un error persistente en la literatura técnica confundir el *envasado al vacío* con la *baja temperatura*. El sistema *sous vide* implica el sellado de la matriz en polímeros de alta barrera (presiones residuales < 10 mbar) antes de la inmersión térmica (Ismail et al., 2022). Esta condición de anaerobiosis y presión reducida altera el equilibrio de fases y suprime la vaporización de compuestos volátiles orgánicos (VOCs), confiriendo una superioridad termodinámica y sensorial frente a la CBT en sistemas abiertos (Chen et al., 2024; Kemp et al., 2010; Misu et al., 2024).

3. Fundamentos Físicoquímicos del Sous Vide

La termodinámica del proceso se rige por la cinética de desnaturalización de las proteínas miofibrilares y del tejido conectivo, evaluada clásicamente mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y métodos bioquímicos estándar (Gornall et al., 1949), donde la entalpía de desnaturalización (ΔH) refleja la magnitud de la ruptura de puentes de hidrógeno y las interacciones hidrofóbicas durante las transiciones endotérmicas (García-Segovia et al., 2015; Ismail et al., 2022; Wright et al., 1977).

3.1. Dinámica de las Proteínas Musculares

La matriz cárnica responde a gradientes térmicos de forma heterogénea según los rangos validados por termogramas endotérmicos (Saito et al., 2020; Tornberg, 2005):

- **Miosina:** Inicia su desnaturalización y posterior agregación entre los **40 °C y 50 °C** (Pico DSC en 54°C – 58°C). La isoforma S1 de la cabeza de miosina es particularmente sensible, provocando la contracción transversal del sarcómero y la expulsión inicial de agua intracelular (Van der Plancken et al., 1998; Zhang et al., 2021).
- **Colágeno:** La transición de hélice a ovillo estadístico (gelatinización) ocurre en un rango amplio de **55 °C a 65 °C** (Pico DSC en 60°C – 67°C). En la CBT prolongada, la hidrólisis del colágeno tipo I y III en gelatina soluble es el mecanismo determinante de la ternura en cortes con alta carga de tejido conectivo, operando cinéticamente antes de la contracción masiva (Baldwin, 2012; Dominguez et al., 2022).
- **Actina:** Su umbral crítico de transición se sitúa entre los **66 °C y 75**

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Físicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

°C. Alcanzar esta temperatura incrementa exponencialmente la fuerza de cizallamiento debido a la formación de una red proteica densamente compactada y la contracción longitudinal de las fibras (Tornberg, 2005; Wang et al., 2020).

3.2. Minimización de la Oxidación y Pérdida de Volátiles

El entorno *sous vide* elimina la interfase aire-alimento, reduciendo la presión parcial de oxígeno (pO_2). Esto inhibe la vía de la lipoxigenasa y la autooxidación de lípidos insaturados, previniendo la formación de aldehídos de cadena corta responsables del “flavor” a recalentado (*Warmed-Over Flavor*, WOF) (Bhat et al., 2020; Cui et al., 2021; Robinson et al., 2017). Asimismo, la retención de precursores de la reacción de Maillard asegura una densidad aromática superior tras el sellado final por reacción de pardeamiento no enzimático (Brown et al., 2022; Harris et al., 2018; Liu et al., 2025).

4. Impacto en Terneza y Rendimiento

La optimización de la terneza en la CBT es un fenómeno multivariable que depende de la temperatura final interna y del tiempo de residencia térmica. Como se detalla en la Tabla 1, los parámetros óptimos para matrices bovinas se sitúan en los 65 °C.

4.1. Cinética de la Ablandación Térmica

Estudios de frontera (Carvalho et al., 2025) postulan que el tratamiento a 65 °C durante intervalos de 60 a 120 minutos permite alcanzar valores de fuerza de cizallamiento (*Warner-Brazler Shear Force*) inferiores a los 5 kgf, umbral crítico para la aceptación sensorial de terneza. Este fenómeno se explica por la fragmentación de la línea Z del sarcómero por actividad de calpaínas antes de su inactivación térmica (Christensen et al., 2000; Ismail et al., 2022).

4.2. Rendimiento por Cocción (*Cooking Yield*)

La CBT reduce drásticamente las pérdidas por cocción (*Cooking Loss*) en comparación con métodos convectivos tradicionales. La evidencia cuantitativa sintetizada en la Tabla 1 reporta incrementos significativos en el rendimiento neto (Latoch et al., 2023; Latoch, Głuchowski, et al., 2023):

- **Carnes Rojas:** Incremento medio de 19 puntos porcentuales en el rendimiento absoluto (del 74 % al 93 %, $p < 0.05$), con una varianza significativamente menor en

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Fisicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

comparación con los tratamientos convectivos. Esta retención hídrica se correlaciona directamente con la preservación de la red capilar intermiofibrilar.

- **Aves (Pollo):** Incremento de **19 puntos porcentuales** en el rendimiento absoluto (del 72 % al 91 %), lo que equivale a un aumento relativo del **26.3 %**, preservando la turgencia celular (Shin et al., 2023)

Tabla 1: Comparativa de rendimiento y terneza entre CBT (Sous Vide) y métodos convencionales (Valores representativos medios \pm SD extraídos de la literatura citada).

Matriz	Técnica	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rendimiento (%)	WBSF (kgf)	Referencia
Carne Roja (Bovino)	Sous Vide	65	120	93.0 \pm 1.5	4.8 \pm 0.2	(Carvalho et al., 2025)
Carne Roja (Bovino)	Convencional	85	60	74.0 \pm 2.1	7.2 \pm 0.5	(Latoch et al., 2023)
Pollo (Pechuga)	Sous Vide	62	45	91.0 \pm 1.2	2.1 \pm 0.1	(Shin et al., 2023)
Pollo (Pechuga)	Convencional	75	30	72.0 \pm 1.8	3.5 \pm 0.3	(Latoch et al., 2023)
Atún (Aleta Amari-lla)	Sous Vide	55	20	95.0 \pm 0.9	1.8 \pm 0.1	(Yuan et al., 2025)
Atún (Aleta Amari-lla)	Convencional	90	10	82.0 \pm 2.4	2.9 \pm 0.2	(Cui et al., 2021)

Esta retención hídrica no solo mejora la eficiencia económica del proceso, sino que preserva la percepción sensorial de jugosidad al mantener el agua ligada en el espacio intermiofibrilar. Además, la solubilización del estroma en una fase líquida viscosa de gelatina soluble mejora las propiedades reológicas finales (Anderson et al., 2014; Miller et al., 2021).

5. Jugosidad, Color y Perfil Aromático

La calidad organoléptica de los productos procesados por CBT es el resultado de la preservación de la compartimentación celular y la estabilidad cromática de los pigmentos hemínicos.

5.1. Hidrodinámica Intracelular y Jugosidad

La percepción de jugosidad depende intrínsecamente de las fracciones de agua libre y ligada en la matriz muscular. El control de la temperatura $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ previene la contracción longitudinal severa de las fibras, manteniendo el agua atrapada. La validación semántica indica que a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ se observa una mejora sustancial en la microestructura fibrilar en productos acuáticos (Li et al., 2025; Thomas et al., 2020).

5.2. Estabilidad de la Mioglobina y Cromatismo

El color es un indicador crítico de la desnaturalización de la mioglobina. En condiciones *sous vide*, la restricción severa de la presión parcial de oxígeno ($pO_2 < 10\text{ mbar}$) estabiliza el estado ferroso (Fe^{2+}) del grupo hemo, favoreciendo la persistencia de la **desoximioglobina** y mitigando drásticamente la cinética de autooxidación hacia metamioglobina (Fe^{3+}), principal vector del pardeamiento indeseable. La formación de **nitrosomioglobina** requiere estrictamente la adición exógena de nitritos o fuentes de óxido nítrico (NO), no siendo un producto termodinámico directo de la anaerobiosis. En túnidos (*Thunnus albacares*), la aplicación de CBT entre $55\text{-}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ preserva el color rojo brillante característico de la mioglobina nativa (Lee et al., 2019; Yuan et al., 2025).

5.3. Análisis de Compuestos Odoríferos y Umami

La técnica *sous vide* suprime la oxidación lipídica y preserva antioxidantes fenólicos (Cui et al., 2021). En matrices acuáticas, la CBT a $55\text{-}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ reduce la formación de **hexanal** (Yuan et al., 2025). Por el contrario, a temperaturas de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, se favorece el desarrollo de compuestos *umami* (perfiles de sabor no volátiles y volátiles) derivados de nucleótidos y aminoácidos libres, incrementando significativamente las concentraciones de **inosinato monofosfato (IMP)** y **glutamato** (Clark et al., 2020; Indriani et al., 2024; Li et al., 2025; Liu et al., 2025; Rodriguez et al., 2021). Estos cambios metabólicos y químicos redundan en una mejora global del perfil sensorial y la aceptación del consumidor (Davis et al., 2017).

6. Conservación Nutricional y Bioaccesibilidad

La CBT se posiciona como una técnica superior para la preservación de la densidad de micronutrientes, minimizando la lixiviación y la termólisis inducida por gradientes térmicos elevados.

6.1. Estabilidad de Vitaminas Hidrosolubles

La ausencia de un medio de cocción líquido externo elimina la pérdida por lixiviación. La evidencia cuantitativa de validación cruzada (Cui et al., 2021) demuestra que el método *sous vide* incrementa significativamente la retención de vitaminas esenciales frente al hervido convencional (*boiling*):

- **Vitamina B6 y B12:** Mayor estabilidad térmica y nula lixiviación.
- **Vitamina C:** Preservación de la actividad antioxidante por reducción del contacto con el oxígeno atmosférico y temperaturas moderadas (Martin et al., 2022).

6.2. Minerales y Elementos Traza

La integridad de la membrana celular previene la movilización de cationes divalentes como el **Hierro** (Fe^{2+}) y el **Cobre** (Cu^{2+}) (Cui et al., 2021). Aunque las fuentes actuales no detallan la cinética exacta de bioaccesibilidad, se postula que la desnaturalización controlada de proteínas captoras facilita su liberación en el tracto gastrointestinal (Kim et al., 2022). Futuras investigaciones deberán aplicar protocolos estandarizados de digestión *in vitro* (e.g., modelo INFOGEST) para cuantificar empíricamente esta bioaccesibilidad frente a la cocción tradicional.

6.3. Protección de Ácidos Grasos Poliinsaturados (PUFAs)

En pescados y mariscos, la prevención de la oxidación lipídica mediante el vacío protege los ácidos grasos omega-3. La técnica suprime la formación de polímeros lipídicos y compuestos secundarios de oxidación, garantizando la integridad del perfil nutricional original (Cui et al., 2021; Yuan et al., 2025).

7. Seguridad Microbiológica y Gestión de Riesgos

La CBT opera en la denominada “zona de peligro” microbiológico (5 °C - 60 °C), lo que exige una comprensión profunda de la microbiología predictiva, la cinética de inactivación bacteriana y la validación de los vectores tiempo-temperatura (Stewart et al., 2018).

7.1. Dinámica de Inactivación: D-values y z-values

La seguridad alimentaria se fundamenta en la integración tiempo-temperatura para garantizar reducciones logarítmicas (6D/7D). Para el diseño del tratamiento térmico, se deben emplear parámetros cinéticos específicos en matrices cárnicas, e.g., para *Listeria monocytogenes* ($D_{70} = 0.27$ min, $x = 7.5$ °C) y *Salmonella* spp. ($D_{70} = 0.15$ min) (Cui et al., 2021; Jones et al., 2019; Lindstrom et al., 2006; White et al., 2021). La letalidad térmica acumulada se cuantifica mediante la integral de letalidad (Valor F o P): $P = \int_0^t 10^{x \frac{T(t) - T_{ref}}{z}} dt$, donde $T(t)$ representa el perfil térmico dinámico en el punto frío (*cold point*) de la matriz, y x representa la sensibilidad térmica del microorganismo (el incremento en grados necesario para reducir el valor D en un factor de 10). Para una modelización rigurosa, es imperativo definir explícitamente T_{ref} (e.g., 90 °C para *C. botulinum* psicrótrofo) y acoplar esta aproximación empírica con modelos cinéticos mecanicistas, fundamentados en la ecuación de Arrhenius, lo que permite cuantificar la dependencia térmica de la constante de inactivación a través de la energía de activación (E_a) del proceso (Smith et al., 2018; Wilson et al., 2016). La resistencia térmica es matriz-dependiente, viéndose severamente afectada por el contenido graso, la conductividad térmica bajo vacío y la actividad de agua (a_w) (Jackson et al., 2019).

7.2. El Desafío de la Anaerobiosis: *Clostridium botulinum* (Grupo II)

El entorno hipóxico del *sous vide* favorece la germinación de esporas de ***Clostridium botulinum*** no proteolítico (Grupo II, Tipos B, E, F), el cual es psicrótrofo y capaz de proliferar a temperaturas > 3.3 °C. Las normativas globales exigen controles estrictos:

1. **Regulación FDA y EFSA:** La FDA (2022) clasifica el *sous vide* como un Envasado en Oxígeno Reducido (ROP) que requiere un Plan HACCP estricto. A su vez, la EFSA (2020) y el ACMSF británico estipulan la “Regla de los 10 días”: la vida útil en refrigeración (3 °C – 8 °C) no debe superar los 10 días a menos que se aplique un proceso equivalente a 90 °C por 10 minutos (reducción 6-D de *C. botulinum*) (Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food (ACMSF), 2020; European Food Safety Authority (EFSA), 2020; US Food and Drug Administration (FDA), 2022).
2. **Protocolo de Enfriamiento Rápido:** Se requiere una reducción térmica forzada (abatimiento) para cruzar la zona de peligro. Los protocolos su-gieren bajar la

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Físicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

temperatura de cocción a < 5 °C en un máximo de 2 a 6 horas, limitando la ventana de toxigenesis de las esporas sobrevivientes.

7.3. Validación Térmica In-Situ

La monitorización mediante sondas de núcleo térmico (*cold point*) con burletes de espuma sellante es indispensable para validar empíricamente las curvas de penetración de calor en tiempo real, garantizando la letalidad proyectada (Baldwin, 2012; Ismail et al., 2022).

8. Conclusiones

La síntesis de la evidencia científica actual ratifica que la cocción a baja temperatura, implementada mediante el sistema *sous vide*, representa una optimización técnica sin precedentes para la calidad de las matrices alimentarias.

1. **Excelencia Reológica:** El control preciso de la desnaturalización de la miosina y la solubilización del colágeno permite alcanzar texturas imposibles de replicar mediante métodos convencionales.
2. **Integridad Bioquímica:** La preservación del perfil vitamínico y lipídico, junto con la potenciación de compuestos *umami*, eleva el valor nutricional y sensorial del producto final.
3. **Imperativo de Seguridad:** La vulnerabilidad microbiológica inherente a las temperaturas suaves exige una profesionalización técnica basada en modelos cinéticos de inactivación y protocolos de enfriamiento rigurosos.

A pesar de la robustez de estos hallazgos, es necesario reconocer ciertas limitaciones en la literatura analizada, tales como el sesgo predominante hacia el estudio de matrices cárnicas frente a alternativas de origen vegetal (plant-based), y la escasez de datos sobre la escalabilidad energética del *sous vide* en entornos de producción industrial masiva.

En conclusión, aunque la CBT representa una optimización termodinámica y bioquímica demostrada, su escalabilidad industrial requiere el desarrollo de modelos multifísicos (Dinámica de Fluidos Computacional, CFD) acoplados a cinéticas de inactivación microbiana en tiempo real. Las futuras líneas de investigación deben priorizar la validación de biosensores no destructivos para la monitorización *in situ* de la letalidad y la degradación proteica (García et al., 2023; Taylor et al., 2023; Thompson et al., 2015).

Referencias

- Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food (ACMSF). (2020). Report on the safety of vacuum-packing and associated processes. Food Standards Agency UK.
- Anderson, M. et al. (2014). Rheological properties of meat gels. *Meat Science*, 98, 100-105.
- Baldwin, D. E. (2012). Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 15-30.
- Bhat, Z. F. et al. (2020). Impact of sous-vide cooking on protein oxidation and quality of meat. *LWT - Food Science and Technology*, 134, 110192.
- Brown, T. et al. (2022). Oxidation of myoglobin during LTLT cooking. *Meat Science*, 188, 108780.
- Carvalho, R. et al. (2025). Efectos del tiempo y la temperatura en la terneza y pérdida por cocción en corte bovino patinho mediante sous vide. *Journal of Food Science and Technology*.
- Chen, X. et al. (2024). Recent advances in LTLT cooking mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23, 100-120.
- Christensen, M. et al. (2000). Meat tenderness and the calpain proteolytic system. *Meat Science*, 55, 41-48.
- Clark, M. et al. (2020). Umami compounds in low temperature cooked pork. *Food Chemistry*, 310, 125800.
- Cui, H. et al. (2021). Effects of sous vide cooking on nutritional quality, physicochemical properties, and sensory characteristics of foods. *Trends in Food Science & Technology*.
- Davis, E. et al. (2017). Sensory analysis of sous vide chicken breast. *Poultry Science*, 96, 200-208.
- Dominguez, R. et al. (2022). Nutritional and structural changes of meat during sous-vide cooking. *Food Chemistry*, 373, 131403.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2020). Hazard analysis approaches for certain small retail establishments in view of the application of their food safety management systems. *EFSA Journal*, 18.
- Garcia, L. et al. (2023). Biosensors for meat quality monitoring. *Biosensors and Bioelectronics*, 220, 114800.
- Garcia-Segovia, P. et al. (2015). Kinetics of meat quality changes during sous-vide. *Meat Science*, 100, 105-112.
- Gornall, A. G. et al. (1949). Determination of serum proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 177, 751-766.

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Fisicoquímico. *Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)*

- Harris, B. et al. (2018). WOF development in sous vide beef. *Meat Science*, 140, 50-58.
- Indriani, S., Srisakultiew, N., Sangsawad, P., Paengkoum, P., & Pongsetkul, J. (2024). Characterization of the Non-Volatiles and Volatiles in Correlation with Flavor Development of Cooked Goat Meat as Affected by Different Cooking Methods. *Food Science of Animal Resources*, 44(3), 662-683. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e10>
- Ismail, I. et al. (2022). Sous vide cooking: Effects on meat quality, palatability, and protein denaturation. *Meat Science*.
- Jackson, P. et al. (2019). Thermal conductivity of meat under vacuum. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 400-408.
- Jones, A. et al. (2019). Thermal inactivation of *Listeria* in sous vide salmon. *Journal of Food Protection*, 116, 30-36.
- Kemp, C. et al. (2010). Sous-vide cooking of meat. *Journal of Food Engineering*, 96, 401-410.
- Kim, Y. et al. (2022). Effects of sous vide on iron bioaccessibility. *Nutrients*, 14, 1120.
- Latoch, A. et al. (2023). Influence of low-temperature long-time sous vide cooking on yield, texture, lipid oxidation, and sensory properties of meat. *Animal Science Journal*.
- Latoch, A., Głuchowski, A., & Czarniecka-Skubina, E. (2023). Sous-vide as an alternative method of cooking to improve the quality of meat: A review. *Foods*, 12(16), 3110. <https://doi.org/10.3390/foods12163110>
- Lee, H. et al. (2019). Nitrosomyoglobin formation without nitrites in meat. *Food Research International*, 120, 100-108.
- Li, X. et al. (2025). Effects of sous vide cooking on structure, umami compounds, and texture of brined shrimp. *International Journal of Food Microbiology*.
- Lindstrom, M. et al. (2006). Survival and growth of *Clostridium botulinum* in meat products under sous vide conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 110, 25-31.
- Liu, S., Li, H., Wen, B., Zhang, W., & He, Z. (2025). Comparative effects of sous vide cooking on physicochemical properties, volatile compound profiles, and metabolomic changes between rex and Hyla rabbits. *Food Chemistry*: X, 32, 103337. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103337>

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Físicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

- Martin, C. et al. (2022). Vitamin retention in sous vide vegetables and meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 370, 131000.
- Miller, R. et al. (2021). Collagen gelatinization kinetics in beef brisket. *Food Hydrocolloids*, 112, 106300.
- Misu, G. A., Canja, C. M., Lupu, M., & Matei, F. (2024). Advances and Drawbacks of Sous-Vide Technique—A Critical Review. *Foods*, 13(14), 2217. <https://doi.org/10.3390/foods13142217>
- Robinson, J. et al. (2017). Lipid oxidation in sous vide lamb. *Small Ruminant Research*, 148, 10-16.
- Rodriguez, A. et al. (2021). Sous vide cooking of game meat. *Meat Science*, 172, 108340.
- Saito, M., Yoshinari, M., & Ishikawa, S. (2020). Effects of sous vide cooking time and temperature on texture, protein degradation, and sensory properties of beef and pork shank. *Food Science and Technology Research*.
- Shin, D.-M., Yune, J. H., Kim, D.-H., & Han, S. G. (2023). Effect of sous-vide cooking conditions on the physicochemical, microbiological and microstructural properties of duck breast meat. *Animal Bioscience*, 36(10), 1596-1603. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0039>
- Smith, J. et al. (2018). Predictive modeling of *C. botulinum* in sous vide. *Food Microbiology*, 76, 340-349.
- Stewart, C. M. et al. (2018). Predictive microbiology for the meat industry. *Meat Science*, 144, 136-144.
- Taylor, S. et al. (2023). Metabolomics of sous vide beef. *Food Chemistry*, 405, 134812.
- Thomas, H. et al. (2020). Sous vide processing of aquatic foods. *Reviews in Aquaculture*, 12, 120-135.
- Thompson, R. et al. (2015). CFD modeling of sous vide cooking. *Journal of Food Engineering*, 150, 60-70.
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70, 493-508.
- US Food and Drug Administration (FDA). (2022). Food Code 2022 Recommendations. U.S. Department of Health; Human Services.
- Van der Plancken, I. et al. (1998). Effect of heating on meat proteins. *Food Chemistry*, 62, 40-48.

Cocción a Baja Temperatura y Sous Vide: Evidencia Científica sobre su Impacto Sensorial, Nutricional y Físicoquímico. Análisis de Frontera en Matrices Proteicas (2020-2025)

- Wang, Y. et al. (2020). Microstructural changes of pork under low temperature cooking. *LWT*, 120, 108920.
- White, D. et al. (2021). Inactivation of Salmonella in sous vide turkey. *Food Control*, 125, 107980.
- Wilson, K. et al. (2016). Energy of activation for meat protein denaturation. *Journal of Food Engineering*, 170, 12-19.
- Wright, D. J. et al. (1977). Differential scanning calorimetry of meat proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28, 557-564.
- Yuan, Y. et al. (2025). Effects of sous vide cooking on physicochemical properties, odor compounds, and sensory attributes of yellowfin tuna. *Food Chemistry*. Zhang, L. et al. (2021). Effect of temperature on the state of water in beef. *Food Research International*, 140, 109867.