



ASPECTOS FUNCIONALES, NUTRICIONALES, SALUDABLES Y COMERCIALES DE PROTEÍNAS VEGETALES COMO ALTERNATIVA PARA ANÁLOGOS DE PRODUCTOS CÁRNICOS: REVISIÓN

FUNCTIONAL, NUTRITIONAL AND COMMERCIAL ASPECTS OF PLANT-BASED PROTEINS AS ALTERNATIVE FOR MEAT PRODUCTS ANALOGUES. A REVIEW

Iciar Astiasarán¹; Larisa Giura²; Diana Ansorena³

¹Académica correspondiente de la Real Academia Nacional de Farmacia. Dra. en Farmacia. Catedrática de Nutrición y Bromatología. Departamento de Ciencias de la Alimentación y Fisiología, Centro de Investigación en Nutrición, Facultad de Farmacia y Nutrición, Universidad de Navarra, IDISNA – Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra, Pamplona. Dirección: C/Irunlarrea s/n 31008 Pamplona, Navarra, España.

²Lcda. en Ingeniería Alimentaria. Investigadora de I+D+i. Departamento de I+D+i. Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria. CNTA. Dirección: NA 134, Km. 53. 31570 San Adrián, Navarra, España. Doctoranda en el Departamento de Ciencias de la Alimentación y Fisiología, Centro de Investigación en Nutrición, Facultad de Farmacia y Nutrición, Universidad de Navarra, IDISNA – Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra, Pamplona. Dirección: C/Irunlarrea s/n 31008 Pamplona, Navarra, España.

³Dra. en Farmacia. Catedrática de Nutrición y Bromatología. Departamento de Ciencias de la Alimentación y Fisiología, Centro de Investigación en Nutrición, Facultad de Farmacia y Nutrición, Universidad de Navarra, IDISNA – Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra, Pamplona. Dirección: C/Irunlarrea s/n 31008 Pamplona, Navarra, España.

corresponding author: ¹icastia@unav.es; ²lgiura@cnta.es; ³dansorena@unav.es

ARTÍCULO DE REVISIÓN

RESUMEN

El interés por las proteínas vegetales se ha incrementado en los últimos años al constituir una alternativa idónea para la elaboración de productos análogos a alimentos tradicionales de origen animal. Además de las ventajas de su producción, más sostenible que la producción de proteína de origen animal, es mejor aceptada por parte de los consumidores que otras alternativas como los insectos o la carne cultivada. Las propiedades tecno-funcionales de las proteínas vegetales pueden mejorarse con la aplicación de tecnologías tradicionales y emergentes. Desde el punto de vista nutricional, se puede conseguir compensar algunos déficits con una dieta variada. Existen aún retos tecnológicos, tanto en cuanto a su producción como en cuanto a su empleo en el desarrollo de alimentos con propiedades saludables, alternativos a sus homólogos de origen animal.

ABSTRACT

The interest in vegetable proteins has increased in recent years as they represent a great alternative for the production of analogue products to traditional animal origin foods. In addition to the advantages of its production, which is more sustainable than animal protein production, this option is better accepted by consumers than other alternatives such as insects or cultured meat. The techno-functional properties of vegetable proteins can be improved with the application of traditional and emerging technologies. From a nutritional point of view, it is possible to compensate for some deficits with a varied diet. There are still technological challenges, both in terms of their production and also of their use in the development of healthy foods, alternatives to their counterparts of animal origin.

Palabras Clave:

proteínas
 tecno-funcional
 sostenibilidad
 vegetales

Keywords:

proteins
 techno-functionality
 sustainability
 vegetables



1. INTRODUCCIÓN

Una dieta rica en productos de origen animal con un aporte excesivo de grasa total, grasa saturada y colesterol se asocia con enfermedades de gran morbi-mortalidad como las enfermedades cardiovasculares y también, en el caso de carnes rojas y carnes procesadas, con factores de riesgo de cáncer (1). A estos aspectos relacionados con la salud se ha sumado en los últimos años la preocupación por la sostenibilidad del planeta. La producción de alimentos de origen animal contribuye de una forma muy significativa a la emisión de gases de efecto invernadero (2) considerándose insostenible mantener una alimentación basada en este sistema para el previsible incremento de la población mundial en los años venideros (3).

Una de las funciones más relevantes en la dieta de los alimentos de origen animal es su aporte de proteínas, tanto en cantidad como en calidad. Las tendencias actuales para sustituir estos alimentos sin que se produzca un detrimento del aporte proteico son tres: alimentos a base de proteína vegetal, insectos y carne cultivada. En general, la alternativa de alimentos a base de proteína vegetal es más aceptada por parte de los consumidores que las otras dos (4). En concreto en España un estudio del año 2021 revela que casi el 60% de los españoles optaría por alternativas vegetales con mayor frecuencia para llevar una dieta más respetuosa con el planeta, mientras que solo el 22% estaría dispuesto a incluir en su mesa carne de laboratorio y el 19%, se atrevería a comer insectos (5).

Se estima que la producción de alimentos de origen vegetal alternativos de la carne supone una reducción en la emisión de gases del orden de 30-90 veces inferior que la producción tradicional, por lo que el consumo de proteínas vegetales alternativas puede ser una herramienta clave para mitigar el cambio climático (6).

2. ESTRUCTURA Y FUNCIONALIDAD DE LAS PROTEÍNAS VEGETALES

Las proteínas constituyen uno de los principales macronutrientes, tanto por su aporte calórico como por su importante función estructural en el organismo. También en los alimentos tienen una importante función tecnológica gracias a sus propiedades de solubilidad, retención de agua y grasa, gelificación, emulsificación, formación de espuma y texturización.

Las proteínas se clasifican según su estructura en fibrilares, flexibles y globulares (7). Las proteínas fibrilares, como miosina, actina, colágeno o elastina son proteínas de origen animal con una estructura helicoidal compleja que permite establecer las estructuras

musculares características de los animales. En el grupo de las proteínas flexibles se encuentra la caseína, con una estructura intermedia que permite conformaciones flexibles dependiendo de las condiciones del medio. También la gelatina (colágeno sometido a altas temperaturas) alcanza esta conformación flexible.

Las proteínas vegetales son principalmente proteínas globulares: albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones salinas de diferente concentración), prolaminas (solubles en soluciones alcohol-agua) y glutelinas (insolubles en agua y solubles en soluciones ácidas o básicas). Las principales fuentes de proteínas vegetales son las legumbres (21-40% de proteína) y los cereales (6-15% de proteína). Las albúminas y globulinas constituyen más del 50% del total de proteínas en las legumbres, mientras que las prolaminas y glutelinas constituyen un 85% de la proteína total en los cereales (trigo, maíz, centeno, arroz) y pseudocereales (quinoa). Las proteínas que se obtienen para la elaboración de alimentos con proteína vegetal suelen estar en forma de harinas (10-20% de proteína), de concentrados (55-60% de proteína) o aislados de proteína (>80% de proteína) (8).

La extracción de las proteínas a partir de las materias primas para conseguir concentrados o aislados de proteína de alta calidad puede ser compleja teniendo en cuenta que exige rendimientos altos y la necesidad de eliminar una serie de compuestos presentes en las materias primas, especialmente en el caso de las legumbres, con propiedades antinutritivas (fitatos, saponinas, lecitinas, inhibidores de proteasas, alfa-galactósidos, alcaloides, polisacáridos y polifenoles) e incluso factores antitecnológicos (que disminuyen las propiedades tecnológicas de las proteínas y entre los que se encuentran: minerales, triacilglicéridos, azúcares reductores y la mayoría de las sustancias antinutritivas). Los procesos de extracción tradicionales pueden hacerse en seco (molido de la materia prima y posterior clasificación atendiendo al tamaño de partícula, densidad y propiedades electromagnéticas) o en húmedo (ruptura de las paredes celulares, solubilización de las proteínas en medio alcalino y posterior precipitación, siendo este último normalmente el más eficiente en cuanto a la obtención de extractos más puros, de mayor calidad y digestibilidad. Actualmente son varias las tecnologías emergentes que se emplean para mejorar estos procesos de extracción y purificación de las proteínas, aún con resultados diversos (9). Hay que tener en cuenta además que todas estas tecnologías (como se verá más adelante) pueden afectar a las propiedades tecnológicas de las proteínas extraídas y por ende, a su potencial aplicación.

Debido a sus diferentes estructuras, los diferentes tipos de proteínas poseen una variedad de propiedades funcionales/tecnológicas y además éstas varían de forma significativa en cada grupo según el tipo concreto de proteína, la cadena aminoacídica, los gru-



pos hidrófobos/hidrófilos superficiales, su peso molecular, los tratamientos a los que se vea sometida y el resto de componentes de la matriz en que se encuentre con los que puede sufrir diferentes grados de interacción (10). En general, las proteínas vegetales poseen propiedades tecnológicas mucho más pobres que las proteínas animales, de ahí que el conseguir las texturas adecuadas (similares a los productos originales) cuando se desarrollan alimentos alternativos a los de origen animal (carnes, lácteos, pescados) sea uno de los grandes retos.

A continuación se expone un breve resumen de los procesos físicos, químicos y enzimáticos que se utilizan en la actualidad en la industria alimentaria para mejorar las propiedades tecnológicas de las proteínas vegetales necesarias para sus diferentes aplicaciones en el desarrollo de alimentos sustitutivos de alimentos de origen animal (8, 9).

A. Procesos físicos: provocan la reducción del tamaño de las moléculas proteicas, su redistribución, desplegamiento de las estructuras, disgregación e incluso su desnaturalización.

1. Tratamiento térmico. La energía térmica normalmente produce la movilidad de los péptidos y en definitiva el desplegamiento y la desnaturalización de las proteínas. Como consecuencia las proteínas tienden a agregarse y la solubilidad disminuye. En algunos casos se han descrito incrementos en las propiedades emulsionantes debido a agregaciones hidrofóbicas y la consiguiente difusión de moléculas proteicas a la interfase aceite-agua. Cuando el grado de desnaturalización proteica es elevado se pueden formar geles cuyas características dependerán, además de la naturaleza de la proteína, de las condiciones del entorno (pH, sales, etc.) y de las condiciones del tratamiento (Temperatura, velocidad del calentamiento y posterior enfriamiento).

2. Ultrasonidos. La aplicación de ultrasonidos (longitudes de onda $> 16\text{KHz}$ no audibles por el ser humano) a un medio causa movimientos de compresión y relajación intermitentes que en el caso de las proteínas provoca un cizallamiento hidrodinámico que modifica la estructura rompiendo las moléculas y modificando su distribución en el medio. También puede generarse un calentamiento suficiente para sumarse a la degradación térmica de las moléculas.

3. Altas Presiones. Las altas presiones (normalmente entre 200 y 700 MPa) favorecen la capacidad de gelificación de las proteínas vegetales al comprimir las cavidades de las proteínas y favorecer la ruptura y formación de nuevos enlaces no covalentes. La dureza del gel se incrementa con la intensidad del tratamiento. También las propiedades emulsionantes se ven favorecidas por los tratamientos con altas presiones.

4. Cocción por Extrusión. Es una tecnología que mezcla el calen-

tamiento, con alta fuerza de cizalla y alta presión consiguiendo un producto esterilizado y con formas y texturas particulares. Cuando se aplica a proteínas vegetales se modifican las propiedades de solubilidad, emulsión, textura y gelificación obteniendo proteínas texturizadas con las que se pueden fabricar, especialmente en condiciones de alta humedad (50-80%) análogos a la carne.

5. Plasma Frío. Se trata de una tecnología emergente no térmica que se aplica a las superficies de los alimentos con fines de esterilización o de modificación de la funcionalidad proteica. Consiste en la generación, a partir de una fuente energética (eléctrica, térmica, electromagnética, etc.) aplicada a un medio gaseoso, de una mezcla de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y radiaciones ultravioletas. Cuando se aplica a las proteínas se rompen los enlaces covalentes internos y los enlaces de azufre y "en definitiva" se modifica la estructura e incluso se rompen las cadenas polipeptídicas.

B. Procesos químicos: provocan cambios en la carga neta de las proteínas sustituyendo los grupos amino e hidroxilo de determinados aminoácidos residuales por otros grupos funcionales. Aunque en general se consiguen buenas propiedades funcionales en las proteínas resultantes su aplicación es más limitada por ser procesos más costosos y que generan más residuos.

1. Glicosilación. Consiste en la adición de una molécula de carbohidrato a la cadena lateral de residuos de lisina o de otros N terminales formando productos estables conjugados proteína-polisacárido. Estas reacciones ocurren normalmente durante la reacción de Maillard y su intensidad depende de las condiciones de temperatura, tiempo, pH, humedad relativa, ratio entre proteína y polisacáridos. En general estos compuestos glicosilados poseen mejores propiedades funcionales que las proteínas de origen.

2. Acilación. Consiste en transferir un grupo acilo a los grupos amino o hidroxilo de los aminoácidos. Según sea el grupo acilo transferido la denominación de la reacción se particulariza: acetilación (el grupo transferido es un grupo acetilo a partir normalmente del anhídrido acético), succinilación (el grupo transferido es el grupo succinilo a partir normalmente del anhídrido succínico), etc. Estas modificaciones provocan una reducción en la carga neta superficial de la proteína, desdoblamiento y, en definitiva, mejoras en las propiedades de emulsificación, solubilidad y gelificación.

3. Desaminación. Consiste en la pérdida de un grupo amino al someter a la proteína a altas temperaturas en un medio ácido o alcalino, lo que origina la conversión de asparagina y glutamina en sus correspondientes ácido aspártico y glutámico. Esta modificación provoca un incremento de la carga neta, disminución de



las interacciones y desplegamiento de las proteínas. Debido a que los cereales son especialmente ricos en asparagina y glutamina este proceso se ha utilizado bastante para mejorar sus propiedades funcionales. Sin embargo, si no se controla la reacción y la desaminación es excesiva se produce el efecto contrario.

4. Fosforilación. Consiste en la unión a las proteínas, a través de enlaces covalentes con los grupos hidroxilo, sulfidrido o amino, de grupos fosfatos aportados por diferentes reactivos (ej. tripolifosfato sódico). La fosforilación incrementa el carácter hidrofílico y la solubilidad de las proteínas. Su aplicación a proteínas, especialmente de cereales, ha mostrado también mejoras en las propiedades emulsionantes.

C. Procesos enzimáticos. Se pueden emplear enzimas proteolíticas que hidrolizan las proteínas o enzimas no proteolíticas que producen entrecruzamientos entre cadenas peptídicas generando nuevas estructuras proteicas. También se incluyen en estos procesos la metabolización de las proteínas por parte de los microorganismos.

1. Hidrólisis enzimática. Enzimas como pepsina, tripsina, alcalasa o papaína se emplean para romper la estructura primaria de las proteínas generando péptidos más pequeños y afectando a la capacidad funcional. Hay que tener en cuenta que un exceso de hidrólisis puede generar sabores amargos por exceso de péptidos de bajo peso molecular. Con un buen control del proceso de hidrólisis pueden conseguirse las adecuadas propiedades de solubilidad, emulsificación o gelificación.

2. Entrecruzamiento enzimático. Con enzimas como la transglutaminasa pueden generarse macroestructuras con capacidades texturizantes interesantes.

3. Fermentación. Aunque tradicionalmente se ha empleado esta técnica para mejorar las propiedades nutricionales, efectos saludables, perfiles sensoriales o vida útil de los alimentos, se ha visto que su efecto sobre las moléculas proteicas también impacta en las capacidades tecnológicas como la emulsificación.

En la Tabla 1 se presentan ejemplos concretos de trabajos publicados sobre el efecto de diversas tecnologías sobre las proteínas y sus propiedades.

Tabla 1. Efectos de diferentes procesos tecnológicos sobre las propiedades funcionales de proteínas vegetales de diferente naturaleza.

| Tipo de proteína | Tratamiento | Condiciones | Resultados observados | Referencias |
|--|--|---|--|-------------|
| Concentrados de proteína de lenteja y guisante | Altas Presiones | 600 MPa, 4 min, 5°C | Formación de geles (más accesibles a la proteólisis gástrica) | -60 |
| Concentrado de proteína de guisante | Altas Presiones | HPP a 250–550 MPa, 15 min, 20–33°C | Desnaturalización de proteínas (a partir de 350 MPa) y formación de gel. | -61 |
| Aislado de proteína de frijol rojo | Altas Presiones y Tratamiento enzimático | HPP a 300, 450, 600 MPa, 15 min y 1.0 - 0.5% Alcalase (E/S), 50 °C, 4h) | Reducción del comportamiento tixotrópico tras la hidrólisis. Formación de péptidos bioactivos de alta funcionalidad (con actividad antioxidante) | -62 |
| Aislado de proteína de quinoa | Tratamiento térmico | 95°C, 30 min | Incremento de la solubilidad y de la estabilidad de la espuma | -63 |
| Aislado de proteína de guisante | Tratamiento térmico | 95°C, 30 min | Provoca interacciones hidrofóbicas internas en la fase continua de la emulsión con la consecuente floculación. | -64 |
| Aislado de proteína de haba | Ultrasonidos | 72.6% de amplitud durante 17.29 min | Incremento de la solubilidad y de la estabilidad de la espuma | -65 |
| Concentrado de proteína de mijo | Ultrasonidos | 73.95 W/cm ² intensidad durante 12.5 min | Incremento de EAI (emulsion activity index) y de ES (emulsion stability) | -66 |
| Aislado de proteína de cacahuete | Plasma frío | 35 V y 2 ± 0.2 A durante 1,2,3,y 4 min | Mejora de solubilidad, propiedades de emulsión y capacidad de retención de agua. | -67 |
| Aislado de proteína de cacahuete | Extrusión en caliente | Extrusión a 130°C | Mejora de propiedades de emulsificación | -68 |
| Concentrado de proteína de garbanzo | Fermentación | 37 °C, 72h | Incremento de propiedades funcionales | -69 |
| Proteína de salvado de arroz | Modificación química | Fosforilación (pH 9) | Mejora la solubilidad y las propiedades de emulsificación. | -70 |

Functional, nutritional and commercial aspects of Plant-based proteins as alternative for meat products analogues. A review

546

Iciar Astiasarán; Larisa Giura; Diana Ansorena

An. Real Acad. Farm. Vol. 88. nº extra (2022) - pp. 543-554



3. ASPECTOS NUTRITIVOS DE LAS PROTEÍNAS VEGETALES

Tradicionalmente los alimentos de origen vegetal son considerados como fuente relevante de compuestos bioactivos, vitaminas y minerales desempeñando un papel fundamental en el mantenimiento de un buen estado de salud. Sin embargo, en los últimos años se ha prestado especial atención a su fracción proteica (11).

Estudios recientes ponen de manifiesto que, desde el punto de vista cuali y cuantitativo, la ingesta proteica en dietas vegetarianas bien diseñadas no está comprometida (12) a pesar de que los alimentos vegetales presentan, en general, menor digestibilidad proteica y ciertas deficiencias en el perfil de aminoácidos esenciales respecto a las proteínas de origen animal (13). La composición en aminoácidos esenciales también varía de unas proteínas vegetales a otras (14,15). Así, las legumbres presentan bajas cantidades de aminoácidos azufrados, como la metionina y cisteína, mientras que en el caso de los cereales son semejantes a los de la proteína animal. Por su parte, los cereales presentan como aminoácido limitante la lisina, aunque los pseudocereales como el amaranto o la quinoa son buena fuente de este aminoácido (15). El maíz o el sorgo, por su parte, muestran niveles altos de leucina, potente estimulador del crecimiento muscular, semejantes a la proteína láctea.

Además de estas diferencias en cuanto a composición, es preciso considerar la capacidad del organismo para digerir los distintos tipos de proteína y absorber sus aminoácidos y lograr un aprovechamiento nutritivo óptimo. Para ello se determina experimentalmente, para cada proteína, su valor de digestibilidad que, junto con el perfil cuantitativo de aminoácidos da lugar a un valor (DIAAS- *Digestible Indispensable Amino Acid Score*) que permite identificar su calidad nutritiva. Un valor de 1 o superior significa que la calidad de la proteína evaluada es semejante a la proteína de referencia (16). Este valor es del orden de 0.9-1.08 para la proteína de suero y la leche, respectivamente, mientras que disminuye en el caso de las proteínas vegetales: 0.85 para la patata, 0.66 para el guisante, 0.75 para las lentejas, y menor a 0.50 para los cereales. Una excepción a estos valores inferiores a 0.85 en alimentos de origen vegetal es la proteína de soja, con un valor de 0.92 (17). La soja presenta valores significativos de arginina, glutamina y glicina que, si bien no son esenciales, ejercen funciones muy relevantes en el organismo.

La digestibilidad de las proteínas depende de varios factores. Uno de ellos es su estructura. Así, las proteínas vegetales tienen una mayor presencia de láminas beta y menor número de hélices alfa que las proteínas de origen animal, lo que las hace más resistentes a la digestión enzimática (18). La digestibilidad también depende de la intensidad de tratamientos térmicos que hayan recibido o de la presencia en el alimento de compuestos antinutritivos

(citados anteriormente), que dificultan su digestión actuando a través de distintos mecanismos (interfieren en procesos metabólicos, afectan a la fisiología gastrointestinal o dificultan la actividad enzimática, por mencionar algunos).(19).

A continuación se resumen algunos de los tratamientos más relevantes descritos por Sá et al. (19) para incrementar la digestibilidad proteica. Todos ellos buscan la inhibición o la destrucción de los mencionados factores antinutritivos. En el caso de los tratamientos que aplican calor es preciso tener en cuenta que las altas temperaturas podrían afectar negativamente a la calidad nutritiva del alimento por destruir micronutrientes termolábiles, por lo que habrá que valorar el balance global del efecto del tratamiento sobre el valor nutritivo del alimento.

1. Cocción: favorece la lixiviación de compuestos no deseados y destruye los inhibidores de proteasas, incrementando así la digestibilidad de alubias, guisantes, garbanzos y otras legumbres, en tratamientos a 100°C de 10-60 minutos de duración. Ahora bien, sobrecalentamientos podrían disminuir la digestibilidad proteica vía reacción de Maillard y cambios conformacionales en las proteínas.
2. Autoclave: de efecto similar a la cocción, se ha observado que incrementa la digestibilidad proteica en boniato, garbanzo, avena o guisante.
3. Microondas: genera calor instantáneo por rotación de dipolos y movimiento iónico, y es muy eficaz en la inactivación de inhibidores de proteasas en legumbres. Se han observado resultados significativos en tratamientos de 3 minutos a 800W.
4. Germinación: lleva consigo una disminución de los polifenoles y ácido fítico, además de activar enzimas proteolíticas que favorecen la digestibilidad proteica. Los tratamientos pueden oscilar entre 48-96 h a 25-30°C.
5. Irradiación: los resultados de la aplicación de esta tecnología no son concluyentes, dado que se han descrito trabajos en los que la digestibilidad proteica disminuye y otros en los que mejora la calidad proteica.
6. Fermentación: se ha observado que mejora el valor nutritivo de una gran variedad de legumbres y cereales en tratamientos que oscilan entre 25-70°C durante 5-96h. Ocasionan desnaturalización parcial de las proteínas y reducción de compuestos no deseados a través de la acción de enzimas microbianas.
7. Extrusión: favorece la digestibilidad mediante la hidrólisis proteica dependiendo de las condiciones del proceso (temperatura, velocidad de extrusión, presión, entre otros).
8. Altas Presiones: favorecen la desnaturalización y su posterior hidrólisis y liberación de péptidos.

En cualquier caso, los valores individuales de la calidad de cada proteína no son tan importantes como la evaluación de la calidad de la proteína de la dieta total. Ésta puede ser idónea si se



consumen alimentos de origen vegetal en abundancia, y lo más variados posible. Se ha observado que, a mayor diversidad de alimentos vegetales en la dieta, mejor es la calidad de la misma. La incorporación de mayor cantidad de legumbres, frutos secos, semillas y vegetales a la dieta resulta imprescindible para lograr este objetivo (20). De hecho, se ha trabajado en herramientas digitales para optimizar la formulación de alimentos de origen vegetal que crean combinaciones de diferentes ingredientes de proteínas vegetales, con restricciones personalizables, como el peso de la mezcla, la cantidad y el tipo de ingredientes, garantizando una calidad proteica excelente (21). Respecto al tipo de ingredientes, a lo largo de los últimos años se están explorando como nuevas fuentes proteicas vegetales, entre otras, el haba (22), la quinoa y lenteja (23), el amaranto y la chía (24), el cáñamo (25), la colza (26) o la semilla de algodón (27).

Las proteínas vegetales constituyen también una magnífica oportunidad para el desarrollo de alimentos enriquecidos en compuestos bioactivos. En general los compuestos con propiedades beneficiosas con los que se quiere enriquecer los alimentos para que puedan ser considerados como funcionales tienen unas características deficitarias desde el punto de vista tecnológico. Así compuestos antioxidantes como la mayoría de los compuestos fenólicos, vitaminas o aceites esenciales o los omega 3 tienen una baja estabilidad en las matrices alimentarias, son a veces difícilmente solubles y "en definitiva" es difícil que alcancen una buena biodisponibilidad en el organismo. Las proteínas vegetales pueden, con los adecuados tratamientos tecnológicos, convertirse en transportadores de dichos compuestos en forma de nanopartículas, emulsiones, geles, etc., proporcionándoles la adecuada protección y asegurando una adecuada liberación en el organismo. Proteínas como la proteína de soja, zeína, gluten o proteína de arroz han sido ampliamente estudiadas con estos fines (28). Gumus et al. (29) demostraron que las proteínas de lenteja, haba y guisante podían usarse para encapsular ácidos grasos poliinsaturados omega 3 sin que se produjese ningún efecto negativo sobre su liberación en el proceso de digestión *in vitro*.

Por otro lado, también es necesario mejorar la producción de las cosechas para que proporcionen más cantidad de proteína y de mejor calidad, así como ampliar las variedades con el fin de que se adapten mejor a diferentes climas y regiones (30).

4. EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LAS PROTEÍNAS VEGETALES

Estudios realizados con amplias cohortes muestran que las dietas basadas en el consumo de proteína vegetal están inversamente relacionadas con la tasa de mortalidad (31,32). Sin embargo, es difícil concluir acerca de los potenciales efectos de la ingesta de proteína vegetal sobre la salud. Los estudios existentes

son bastante recientes y, en general, los resultados encontrados generan incertidumbres por el bajo número de personas incluidas en el estudio, por la corta duración de los mismos, o porque no queda claro si el efecto se puede atribuir a la proteína vegetal o a otros componentes vegetales que la acompañan al ingerir este tipo de dietas. De ahí que la mayoría de los autores coinciden en que se requiere más evidencia científica acerca de todos estos efectos.

A continuación se hace un breve resumen de los principales resultados encontrados hasta el momento sobre enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedad renal, cáncer y alergias (17).

Enfermedades cardiovasculares. Existe bastante discrepancia acerca de los posibles efectos beneficiosos de la sustitución de la proteína animal por proteína vegetal en el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Li et al. en una revisión sistemática y meta análisis de 112 ensayos randomizados realizados en personas adultas con y sin hiperlipidemia observaron que en general los biomarcadores de enfermedad cardiovascular estaban disminuidos en el consumo de proteína vegetal frente a la proteína animal (33). En concreto observaron una disminución de lípidos sanguíneos incluyendo LDL-colesterol, no HDL-colesterol y apolipoproteínas B. Zhao et al. (34) hicieron un metaanálisis incluyendo 32 ensayos de intervención, la mayoría de ellos con proteína de soja como sustituto de la proteína de carne, en los que encontraron también una disminución de los perfiles lipídicos.

En el estudio HELENA (*Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence*) se sugiere que el incremento del consumo de proteína vegetal en sustitución de la proteína animal puede ayudar en el control de la obesidad además de tener efectos positivos en los factores cardiometabólicos (35).

Campbell et al. (36) señalan "sin embargo" que no existe una evidencia científica consolidada y contrastada acerca del efecto positivo sobre los biomarcadores cardiovasculares al sustituir la proteína animal por vegetal. Estos autores sí que encuentran en su estudio cierta evidencia de un efecto positivo cuando la carne roja se sustituye por carne blanca. Por el contrario, Bergeron et al. (37) en un estudio cruzado randomizado no encuentran diferencias entre proteína de carne blanca y roja, pero sí observan beneficios cuando se ingiere proteína no animal frente a proteína animal, aunque ellos mismos señalan que los resultados no son concluyentes.

Wang et al. en un trabajo reciente en el que intentan analizar la influencia de diversos alimentos ricos en proteína tanto de origen vegetal como animal sobre el riesgo de enfermedades cardiovasculares enfatizan la importancia del efecto global de los alimentos y la dieta frente al efecto de un determinado tipo de proteína, ya que este último es difícil de demostrar desde el punto de vista metodológico. En el mismo trabajo los autores sugieren el importante papel de la microbiota en dichos efectos (38).



Diabetes. Es cierto que, en general, las dietas vegetarianas se asocian con beneficios para los pacientes con diabetes, pero no está claro que esos efectos se deban a la proteína vegetal. Hassanzadeh-Rostami et al. en un ensayo randomizado con pacientes con diabetes tipo 2 no encontraron diferencias entre aquellos sometidos a dietas con proteína animal, con proteína de soja y con otro tipo de proteína vegetal tras 8 semanas de tratamiento (39). Markova et al. en un estudio randomizado con 37 personas diabéticas sometidas a dietas altas en proteína animal o vegetal durante 6 semanas encontraron mejoras en varios parámetros relacionados con la sensibilidad a la insulina y con la pérdida de peso y los biomarcadores lipídicos sanguíneos, pero sin diferencias entre ambos tratamientos (40).

Otros estudios, algo más antiguos, sí que muestran algunas evidencias de efectos positivos de la proteína vegetal en pacientes con diabetes (41–44).

Enfermedad renal. Una enfermedad en la que la ingesta proteica tiene importancia es la enfermedad renal. Los últimos estudios epidemiológicos muestran que la función renal se ve afectada no solo por la cantidad de proteína sino también por el tipo de proteína ingerida (45). En este sentido, el Estudio de Cohorte sobre Insuficiencia Renal Crónica indica que existe una asociación entre el consumo de proteína vegetal y la reducción de factores de riesgo metabólico para la enfermedad crónica renal (46). Hay otros estudios que apuntan también a que una dieta a base de vegetales y en concreto con proteína vegetal, como por ejemplo la proteína de soja, tienen efectos positivos en la función renal (47–49).

Cáncer. No hay apenas estudios sobre la posible relación entre consumo de proteína vegetal y disminución de riesgo de cáncer.

Alergias alimentarias. Hay que señalar que todas las proteínas alimentarias tienen el potencial de desarrollar alergias, siendo más sensible a esta problemática la población infantil que la adulta, de ahí la importancia de ir incluyendo durante los primeros años de vida una alimentación variada que puede prevenir algunos de los posibles problemas alérgicos fundamentalmente por adaptación de la microbiota intestinal (50). Sin embargo, no siempre esta adaptación es posible y hay personas vulnerables a determinados componentes de los alimentos.

Actualmente se conocen alergias e intolerancias a las proteínas del trigo y soja. También hay descritos casos de alergias a la proteína de guisante, aunque esta última no se considera como alérgeno para ser informado en las etiquetas de los alimentos (alérgeno escondido). En cualquier caso, dada la gran diversidad de respuesta del sistema inmunitario de cada persona y de los múltiples factores implicados en las mismas, es difícil predecir el impacto sobre el desarrollo de alergias alimentarias de la inclusión de un determinado ingrediente o alimento en la dieta.

5. PRODUCTOS ALTERNATIVOS A BASE DE PROTEÍNA VEGETAL

El interés de las proteínas vegetales como alternativa a la proteína animal en la dieta a base de desarrollar alimentos que simulen a los originales de los sectores de la carne, los lácteos o del pescado resulta innegable.

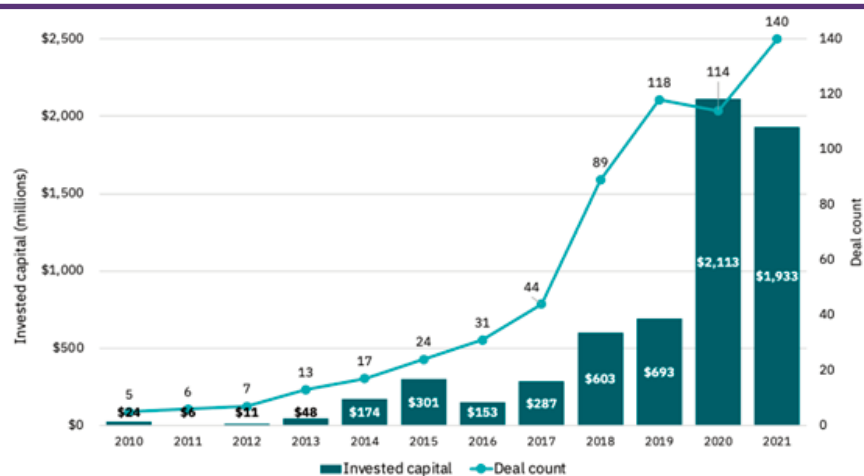
Las ventas de productos basados en proteína vegetal en el mercado de USA en el año 2021 creció tres veces más rápido que el total de ventas en alimentación alcanzando 7.4 billones de dólares. En concreto en el sector de productos análogos a la carne las ventas en 2021 en USA fueron de 1,4 billones de dólares mientras que en el sector de lácteos alcanzaron los 2,68 billones de dólares (6). El mercado mundial de proteínas de origen vegetal se estima en 12.2 billones en 2022 y en 17.4 billones para 2027 (51) (*Market & Market, 2022*).

Según el GFI (*Global Food Institute*) en 2021 había un total de 668 compañías dedicadas a la producción de alimentos alternativos elaborados con vegetales, de las que 292 están situadas en EU, 239 en USA y el resto en América del Sur (40), Asia (82) y Australia (15) (52).

En la Figura 1 se representa la evolución de las inversiones en los últimos 11 años en este sector. Tal y como se puede observar, el desarrollo del sector ha sido exponencial alcanzando en los últimos dos años unas cifras significativas (entorno a 1000 M\$). La Figura 2 muestra los principales países donde se acumula la inversión, siendo Estados Unidos quien acapara el mayor porcentaje.

Uno de los sectores más importantes en esta tendencia de los productos alternativos es el de la carne. En un trabajo reciente sobre la industria cárnica en Canadá y la repercusión de los análogos de la carne (53) se señala que, según los datos oficiales, aunque todavía las ventas de este tipo de análogos es del orden del 0,9% del sector, su crecimiento está siendo mucho mayor que el de los productos tradicionales estimándose en un 8,3% en el periodo 2014 a 2023. Este mismo trabajo señala que el 22-34% de los canadienses piensan en reducir su ingesta de carne, siendo los principales motivos la salud, el impacto medioambiental el precio y el bienestar animal, factores que son comunes a los analizados en otros estudios. Además, se ha visto que en personas por encima de los 45 años el factor prioritario es la salud mientras que en los más jóvenes es el impacto medioambiental.

Un aspecto importante en el empleo de proteína vegetal en la reformulación de alimentos o en la preparación de suplementos es que plantea ciertas dificultades desde el punto de vista sensorial y puede resultar un factor que limite la aceptación de los nuevos productos por parte de los consumidores (54). Se han descrito distintos sabores desagradables (amargo, graso, herbal, leguminoso, astringente), consecuencia de la presencia de compuestos volátiles (alde-



Source: GFI analysis of data from PitchBook Data, Inc.
Note: Data has not been reviewed by PitchBook analysts.

Figura 1. Inversión global en empresas relacionadas con productos a base de vegetales (periodo 2010-2021) (6) (Fuente GFI, 2021).

hídos, cetonas, pirazinas y furanos), y no volátiles (péptidos, alcaloides, compuestos fenólicos) que pueden ser minimizados con algunas estrategias tecnológicas (54).

Es importante señalar que los productos que existen actualmente en el mercado a base de proteína vegetal no siempre responden a un perfil nutricional mucho mejor que los productos tradicionales elaborados con ingredientes de origen animal. McClements (55) comparando el perfil nutricional de *burgers* vegetales con los convencionales de la misma marca observaron que presentaban igual cantidad de proteína, menor aporte de calorías, grasa y colesterol, pero mayores cantidades de carbohidratos, azúcares y sal. En un estudio comparativo de la composición nutricional actual de los productos análogos a la carne y los productos tradicionales (56) se concluye que, en general, los nuevos productos responden a la clasificación de alimentos ultraprocesados (con un listado de más de 20

ingredientes en la mayoría de los casos) y por otro lado su perfil nutricional respondería al de los alimentos que pretenden simular. Mientras que platos vegetarianos tradicionales requieren cantidades mínimas de aceite y sal en su preparación, las nuevas alternativas vegetales sustitutivas de productos cárnicos se comercializan en forma de hamburguesas, salchichas, o *nuggets*, que requieren frituras, y que se suelen acompañar de alimentos de escasa calidad nutricional. Las dietas basadas en estos nuevos reformulados pueden llegar a ser deficientes en calcio, potasio, magnesio, zinc y vitamina B12, mientras que exceden las ingestas recomendadas de grasa saturada, sodio y azúcar (57). Se hace evidente por tanto necesidad de informar adecuadamente a los consumidores y asegurar que, si reducen el consumo de alimentos de origen animal, escojan alternativas que eviten una disminución no intencionada de micronutrientes en la dieta, y se satisfagan las recomendaciones nutricionales (58).



Source: GFI analysis of data from PitchBook Data, Inc.
Note: Data has not been reviewed by PitchBook analysts. North America includes Canada and the United States only. Latin America includes Mexico, South America, and Central America.

Figura 2. Inversión por regiones en empresas relacionadas con productos a base de proteína vegetal. (Fuente: GFI, 2021) (6)

Functional, nutritional and commercial aspects of Plant-based proteins as alternative for meat products analogues. A review

550

Iciar Astiasarán; Larisa Giura; Diana Ansorena

An. Real Acad. Farm. Vol. 88, nº extra (2022) · pp. 543-554



En definitiva, subsiste el reto de mejorar las formulaciones de los nuevos productos que se generan como alternativa de productos de origen animal para que, además de cumplir con la expectativa de constituir una adecuada fuente proteica en la dieta, supongan una mejora global del aporte del resto de nutrientes y compuestos desde el punto de vista saludable.

6. ASPECTOS REGULATORIOS

Desde el punto de vista legislativo apenas se han desarrollado normativas expresas sobre la producción o comercialización de productos vegetales alternativos a alimentos de origen animal. En la Unión Europea solo cabe destacar la prohibición expresa a partir de enero de 2021 de denominar a productos vegetales alternativos a los lácteos (leche, yogures, quesos) con denominaciones que evoquen a un origen lácteo (basada en el Reglamento 1308/2013). Sin embargo, por el momento, esta prohibición no es extensiva a productos que sean alternativos en el sector de la carne o del pescado. En Estados Unidos, la Asociación de Alimentos elaborados con Plantas - *Plant Based Food Association* (PBFA) desarrolló unos estándares para la denominación de productos alternativos a los elaborados con carne (59). Además, esta Asociación junto con la NSF (*National Sanitation Foundation*) en Estados Unidos desarrollaron una certificación de productos alternativos para avalar su origen vegetal que puede utilizarse de forma voluntaria en los etiquetados ayudando a promocionar este tipo de alimentos.

Sin embargo, a medio-largo plazo los organismos reguladores nacionales e internacionales deberían establecer unos estándares que permitan etiquetar apropiadamente los productos alternativos a base de plantas para evitar la confusión de los consumidores. Esta regulación ayudaría al desarrollo de este tipo de industrias y sobre todo ayudarían al consumidor a elegir una dieta más saludable y sostenible (52). En enero de 2022 la FDA anunció que se disponía a trabajar sobre la regulación del etiquetado de estos productos (6).

7. CONCLUSIONES

Las proteínas vegetales convenientemente modificadas pueden constituir una alternativa adecuada desde el punto de vista tecnológico para el desarrollo de alimentos que emulen en cuanto a sus características texturales a los productos de origen animal presentes tradicionalmente en nuestra cultura gastronómica. Su producción es más respetuosa con el medio ambiente y la sostenibilidad del planeta que la producción animal. Aunque de forma individual pueden presentar algunos déficits en cuanto al aporte de aminoácidos, una buena combinación, diversificación y tratamiento asegura la calidad nutricional.

En comparación con otras alternativas proteicas, como la carne cultivada o los insectos, no provoca ningún tipo de rechazo por parte de la población (más allá de las posibles diferencias sensoriales con el producto original), ni requiere de un desarrollo tecnológico de producción sofisticado. Además, en opinión de los autores, garantiza una actividad rural que es de gran importancia para la economía y el desarrollo de las comunidades. Subsiste en la actualidad el reto de conseguir formulaciones de productos alternativos a los de origen animal a base de proteínas vegetales que siendo sensorialmente excelentes respondan a un perfil nutricional saludable.

8. REFERENCIAS

1. Bouvard V, Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, Ghissassi F El, Benbrahim-Tallaa L, et al. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*. Lancet Publishing Group; 2015. p. 1599–600.
2. Hadi J, Brightwell G. Safety of alternative proteins: Technological, environmental and regulatory aspects of cultured meat, plant-based meat, insect protein and single-cell protein. *Foods*. 2021;10(6).
3. van Dijk M, Morley T, Rau ML, Saghai Y. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nat Food* [Internet]. 2021;2(7):494–501. Available from: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
4. Onwezen MC, Bouwman EP, Reinders MJ, Dagevos H. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite* [Internet]. 2021;159(November 2020):105058. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>
5. Nestlé I. Observatorio Nestlé sobre Hábitos Nutricionales y Estilos de Vida de las Familias. Informe 2021. 2021; Available from: <https://empresa.nestle.es/es/sala-de-prensa/actualidad-nestle/alimentacion-sostenible>
6. GFI. 2021 State of the Industry Report. Plant-based meat, seafood, eggs and dairy [Internet]. 2021. Available from: <https://gfi.org/resource/plant-based-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/>
7. Sim SYJ, Srv A, Chiang JH, Henry CJ. Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*. 2021;10(8):1–31.
8. Akharume FU, Aluko RE, Adedeji AA. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2021;20(1):198–224.
9. Bou R, Navarro-Vozmediano P, Domínguez R, López-Gómez M, Pinent M, Ribas-Agustí A, et al. Application of emerging technologies to obtain legume protein isolates with improved techno-functional



- properties and health effects. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2022;21(3):2200–32.
10. Philips LG. *Structure-function properties of food proteins*. Cambridge: Academic Press Inc.; 2013.
 11. Langyan S, Yadava P, Khan FN, Dar ZA, Singh R, Kumar A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Front Nutr*. 2022;8(January).
 12. Mariotti F, Gardner CD. Dietary protein and amino acids in vegetarian diets—A review. *Nutrients*. 2019;11(11):1–19.
 13. Day L, Cakebread JA, Loveday SM. Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2022;119(December 2021):428–42. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>
 14. Kumar M, Tomar M, Punia S, Dhakane-Lad J, Dhumal S, Changan S, et al. Plant-based proteins and their multifaceted industrial applications. *Lwt* [Internet]. 2022;154(October 2021):112620. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112620>
 15. Sá AGA, Moreno YMF, Carciofi BAM. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2020;97(October 2019):170–84. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>
 16. FAO. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAQ Expert Consultation. Vol. 92, FAO food and nutrition paper. 2013. 1–66 p.
 17. Hertzler SR, Lieblein-Boff JC, Weiler M, Allgeier C. Plant proteins: Assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. *Nutrients*. 2020;12(12):1–27.
 18. Nguyen TTP, Bhandari B, Cichero J, Prakash S. Gastrointestinal digestion of dairy and soy proteins in infant formulas: An in vitro study. *Food Res Int* [Internet]. 2015;76:348–58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.030>
 19. Sá AGA, Moreno YMF, Carciofi BAM. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2019;60(20):3367–86. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688249>
 20. Salomé M, De Gavelle E, Dufour A, Dubuisson C, Volatier JL, Fouillet H, et al. Plant-Protein Diversity Is Critical to Ensuring the Nutritional Adequacy of Diets When Replacing Animal with Plant Protein: Observed and Modeled Diets of French Adults (INCA3). *J Nutr*. 2020;150(3):536–45.
 21. Rojas Conzuelo Z, Robyr R, Kopf-Bolan KA. Optimization of Protein Quality of Plant-Based Foods Through Digitalized Product Development. *Front Nutr*. 2022;9(May):1–10.
 22. Martineau-Côté D, Achouri A, Karboune S, L'Hocine L. Faba Bean: An Untapped Source of Quality Plant Proteins and Bioactives. *Nutrients*. 2022;14(8):1–27.
 23. Alrosan M, Tan TC, Mat Easa A, Gammoh S, Alu'datt MH. Recent updates on lentil and quinoa protein-based dairy protein alternatives: Nutrition, technologies, and challenges. *Food Chem* [Internet]. 2022;383(August 2021):132386. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132386>
 24. López DN, Galante M, Robson M, Boeris V, Spelzini D. Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2018;109:152–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.080>
 25. Helstad A, Forsén E, Ahlström C, Mayer Labba IC, Sandberg AS, Rayner M, et al. Protein extraction from cold-pressed hempseed press cake: From laboratory to pilot scale. *J Food Sci*. 2022;87(1):312–25.
 26. Chmielewska A, Kozłowska M, Rachwał D, Wnukowski P, Amarowicz R, Nebesny E, et al. Canola/rapeseed protein—nutritional value, functionality and food application: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2021;61(22):3836–56. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1809342>
 27. Kumar M, Tomar M, Punia S, Grasso S, Arrutia F, Choudhary J, et al. Cottonseed: A sustainable contributor to global protein requirements. *Trends Food Sci Technol*. 2021;111(Febuary):100–13.
 28. Guan T, Zhang Z, Li X, Cui S, McClements DJ, Wu X, et al. Preparation, Characteristics, and Advantages of Plant Protein-Based Bioactive Molecule Delivery Systems. *Foods* [Internet]. 2022;11(11). Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/11/1562>
 29. Gumus CE, Decker EA, McClements DJ. Gastrointestinal fate of emulsion-based ω -3 oil delivery systems stabilized by plant proteins: Lentil, pea, and faba bean proteins. *J Food Eng* [Internet]. 2017;207:90–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.019>
 30. Colgrave ML, Dominik S, Tobin AB, Stockmann R, Simon C, Howitt CA, et al. Perspectives on Future Protein Production. *J Agric Food Chem*. 2021;69(50):15076–83.
 31. Huang J, Liao LM, Weinstein SJ, Sinha R, Graubard BI, Albanes D. Association between Plant and Animal Protein Intake and Overall and Cause-Specific Mortality. *JAMA Intern Med*. 2020;180(9):1173–84.
 32. Naghshi S, Sadeghi O, Willett WC, Esmailzadeh A. Dietary intake of total, animal, and plant proteins and risk of all cause, cardiovascular, and cancer mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *BMJ*. 2020;370.
 33. Li SS, Mejia SB, Lytvyn L, Stewart SE, Vigiouliouk E, Ha V, et al. Effect of plant protein on blood lipids: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Am Heart Assoc*. 2017;6(12).
 34. Zhao H, Song A, Zheng C, Wang M, Song G. Effects of plant protein and animal protein on lipid profile, body weight and body mass index on patients with hypercholesterolemia: a systematic review



- and meta-analysis. *Acta Diabetol.* 2020 Oct;57(10):1169–80.
35. Lin Y, Mouratidou T, Vereecken C, Kersting M, Bolca S, De Moraes ACF, et al. Dietary animal and plant protein intakes and their associations with obesity and cardio-metabolic indicators in European adolescents: The HELENA cross-sectional study. *Nutr J.* 2015;14(1):1–11.
 36. Campbell WW. Animal-based and plant-based protein-rich foods and cardiovascular health: a complex conundrum. *Am J Clin Nutr.* 2019;110(1):8–9.
 37. Bergeron N, Chiu S, Williams PT, M King S, Krauss RM. Effects of red meat, white meat, and nonmeat protein sources on atherogenic lipoprotein measures in the context of low compared with high saturated fat intake: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr.* 2019;110(1):24–33.
 38. Wang Y, Hill ER, Campbell WW, O'Connor LE. Plant- and Animal-Based Protein-Rich Foods and Cardiovascular Health. *Curr Atheroscler Rep* [Internet]. 2022;24(4):197–213. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11883-022-01003-z>
 39. Hassanzadeh-Rostami Z, Hemmatdar Z, Pishdad GR, Faghih S. Moderate Consumption of Red Meat, Compared to Soy or Non-Soy Legume, Has No Adverse Effect on Cardio-Metabolic Factors in Patients with Type 2 Diabetes. *Exp Clin Endocrinol diabetes Off journal, Ger Soc Endocrinol [and] Ger Diabetes Assoc.* 2021 Jun;129(6):429–37.
 40. Markova M, Koelman L, Hornemann S, Pivovarova O, Sucher S, Machann J, et al. Effects of plant and animal high protein diets on immune-inflammatory biomarkers: A 6-week intervention trial. *Clin Nutr* [Internet]. 2020;39(3):862–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.03.019>
 41. Malik VS, Li Y, Tobias DK, Pan A, Hu FB. Dietary Protein Intake and Risk of Type 2 Diabetes in US Men and Women. *Am J Epidemiol.* 2016;183(8):715–28.
 42. Smith CE, Mollard RC, Luhovyy BL, Harvey Anderson G. The effect of yellow pea protein and fibre on short-term food intake, subjective appetite and glycaemic response in healthy young men. *Br J Nutr.* 2012;108(SUPPL. 1):74–80.
 43. König D, Muser K, Berg A, Deibert P. Fuel selection and appetite-regulating hormones after intake of a soy protein-based meal replacement. *Nutrition.* 2012;28(1):35–9.
 44. Vigiliouk E, Stewart SE, Jayalath VH, Ng AP, Mirrahimi A, de Souza RJ, et al. Effect of replacing animal protein with plant protein on glycemic control in diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients.* 2015;7(12):9804–24.
 45. Bernier-Jean A, Prince RL, Lewis JR, Craig JC, Hodgson JM, Lim WH, et al. Dietary plant and animal protein intake and decline in estimated glomerular filtration rate among elderly women: a 10-year longitudinal cohort study. *Nephrol Dial Transplant Off Publ Eur Dial Transpl Assoc - Eur Ren Assoc.* 2021 Aug;36(9):1640–7.
 46. Scialla JJ, Appel LJ, Wolf M, Yang W, Zhang X, Sozio SM, et al. Plant protein intake is associated with fibroblast growth factor 23 and serum bicarbonate levels in patients with chronic kidney disease: the Chronic Renal Insufficiency Cohort study. *J Ren Nutr Off J Counc Ren Nutr Natl Kidney Found.* 2012 Jul;22(4):379–388.e1.
 47. Goraya N, Simoni J, Jo C-H, Wesson DE. A comparison of treating metabolic acidosis in CKD stage 4 hypertensive kidney disease with fruits and vegetables or sodium bicarbonate. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2013 Mar;8(3):371–81.
 48. Moe SM, Zidehsarai MP, Chambers MA, Jackman LA, Raddcliffe JS, Trevino LL, et al. Vegetarian compared with meat dietary protein source and phosphorus homeostasis in chronic kidney disease. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2011 Feb;6(2):257–64.
 49. Kubota M, Watanabe R, Yamaguchi M, Hosojima M, Saito A, Fujii M, et al. Rice endosperm protein slows progression of fatty liver and diabetic nephropathy in Zucker diabetic fatty rats. *Br J Nutr.* 2016 Oct;116(8):1326–35.
 50. Skypala IJ, McKenzie R. Nutritional Issues in Food Allergy. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2019 Oct;57(2):166–78.
 51. Markets & Markets. Plant-based protein market report [Internet]. 2022. Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/plant-based-protein-market-14715651.html>
 52. Sridhar K, Bouhallab S, Croguennec T, Renard D, Lechevalier V. Recent trends in design of healthier plant-based alternatives: nutritional profile, gastrointestinal digestion, and consumer perception. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2022;0(0):1–16. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2081666>
 53. Ngapo TM. Meat analogues, the Canadian Meat Industry and the Canadian consumer. *Meat Sci* [Internet]. 2022;191(May):108846. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108846>
 54. Leonard W, Zhang P, Ying D, Fang Z. Surmounting the off-flavor challenge in plant-based foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2022;0(0):1–22. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2078275>
 55. McClements DJ. Future foods: Is it possible to design a healthier and more sustainable food supply? *Nutr Bull.* 2020;45(3):341–54.
 56. Bohrer BM. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Sci Hum Wellness.* 2019;8(4):320–9.
 57. Tso R, Forde CG. Unintended consequences: Nutritional impact and potential pitfalls of switching from animal- to plant-based foods. *Nutrients.* 2021;13(8):1–16.
 58. Ložnjak Švarc P, Jensen MB, Langwagen M, Poulsen A, Trolle E, Jakobsen J. Nutrient content in plant-based protein products intended for food composition databases. *J Food Compos Anal.* 2022;106(December 2021).



59. NSF-PBFA. NSF-PBFA. [Internet]. Available from: <https://www.nsf.org/testing/food/food-beverage-product-certification/plant-based-certification>
60. Hall AE, Moraru CI. Effect of High Pressure Processing and heat treatment on in vitro digestibility and trypsin inhibitor activity in lentil and faba bean protein concentrates. *Lwt.* 2021;152(April):112342.
61. Sim SYJ, Karwe M V., Moraru CI. High pressure structuring of pea protein concentrates. *J Food Process Eng.* 2019;42(7):1–11.
62. Al-Ruwaih N, Ahmed J, Mulla MF, Arfat YA. High-pressure assisted enzymatic proteolysis of kidney beans protein isolates and characterization of hydrolysates by functional, structural, rheological and antioxidant properties. *Lwt.* 2019;100(August 2018):231–6.
63. Mir NA, Riar CS, Singh S. Improvement in the functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein isolates after the application of controlled heat-treatment: Effect on structural properties. *Food Struct.* 2021;28(April):100189.
64. Peng W, Kong X, Chen Y, Zhang C, Yang Y, Hua Y. Effects of heat treatment on the emulsifying properties of pea proteins. *Food Hydrocoll.* 2016;52:301–10.
65. Martínez-Velasco A, Lobato-Calleros C, Hernández-Rodríguez BE, Román-Guerrero A, Alvarez-Ramirez J, Vernon-Carter EJ. High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes. *Ultrason Sonochem.* 2018;44(January):97–105.
66. Nazari B, Mohammadifar MA, Shojaee-Aliabadi S, Feizollahi E, Mirmoghtadaie L. Effect of ultrasound treatments on functional properties and structure of millet protein concentrate. *Ultrason Sonochem.* 2018;41(November 2016):382–8.
67. Ji H, Dong S, Han F, Li Y, Chen G, Li L, et al. Effects of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Cold Plasma Treatment on Physicochemical and Functional Properties of Peanut Protein. *Food Bioprocess Technol.* 2018;11(2):344–54.
68. Chen L, Chen J, Yu L, Wu K, Zhao M. Emulsification performance and interfacial properties of enzymically hydrolyzed peanut protein isolate pretreated by extrusion cooking. *Food Hydrocoll.* 2018;77:607–16.
69. Xing Q, Dekker S, Kyriakopoulou K, Boom RM, Smid EJ, Schutyser MAI. Enhanced nutritional value of chickpea protein concentrate by dry separation and solid state fermentation. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2020;59(June 2019):102269.
70. Hu Z, Qiu L, Sun Y, Xiong H, Ogra Y. Improvement of the solubility and emulsifying properties of rice bran protein by phosphorylation with sodium trimetaphosphate. *Food Hydrocoll.* 2019;96(January):288–99.

Si desea citar nuestro artículo:

Aspectos funcionales, nutricionales, saludables y comerciales de proteínas vegetales como alternativa para análogos de productos cárnicos: Revisión

lciar Astiasarán; Larisa Giura; Diana Ansorena

An Real Acad Farm [Internet].

An. Real Acad. Farm. Vol. 88. nº extra (2022) · pp. 543-554

DOI: <http://dx.doi.org/10.53519/analesranf.2022.88.05.20>