

A collage of food items including peanuts in a wooden bowl, eggs, flour, and salmon.

Global trends in protein food consumption and new alternatives

TENDENCIAS MUNDIALES RESPECTO AL CONSUMO DE ALIMENTOS PROTEICOS Y LAS NUEVAS ALTERNATIVAS

Hugo Alberto Vigil Rodríguez¹

En esta revisión se describe de forma divulgativa los conceptos fundamentales de las proteínas y se hace un recorrido por las tendencias mundiales respecto al actual consumo de fuentes proteicas. Asimismo, se presentan posibles alternativas a futuro para poder mitigar los efectos del calentamiento global debido a la alta emisión de gases de efecto invernadero por causa del alto consumo de alimentos de origen animal. La intención es generar una visión crítica con respecto a los vigentes hábitos alimenticios y los nuevos retos que deparará el crecimiento poblacional.

Palabras clave: Proteínas, carne, leche, agricultura celular, alimentos en base a plantas, cambio climático, gases de efecto invernadero.

This review provides an informative overview of the fundamental concepts of proteins and an overview of global trends in the current consumption of protein sources. It also presents possible future alternatives to mitigate the effects of global warming due to the high emission of greenhouse gases caused by the high consumption of animal-based foods. The intention is to promote a critical view regarding current eating habits and the new challenges that population growth will bring.

Keywords: Proteins, meat, milk, cellular agriculture, plant-based foods, climate change, greenhouse gases.

Recibido: 10 de febrero de 2025.

Aceptado en forma final: 25 de octubre de 2025

Cómo citar este artículo: Vigil Rodriguez, Hugo: "Tendencias mundiales respecto al consumo de alimentos proteicos y las nuevas alternativas". Revista de Química, 2025, 39 (2) 13-25.

DOI: <https://doi.org/10.18800/quimica.202502.002>

¹ Última afiliación académica: Aarhus University, Department of Food Science, Agro Food Park 48, 8200 Aarhus N, Denmark. Actualmente: ACQ-Gestores, Lima, Perú (hugovigil121@hotmail.com)



INTRODUCCIÓN A LAS PROTEÍNAS

En el día a día escuchamos hablar a amigos, familiares o especialistas en ciencias médicas sobre la importancia de una adecuada ingesta diaria de proteína como parte de una alimentación completa. Las principales fuentes de este macronutriente son las carnes de origen vacuno, avícola, porcino, productos hidrobiológicos como pescados, moluscos y crustáceos, como también productos lácteos y derivados lácteos como yogur y quesos. La ingesta de este macronutriente es de gran importancia debido a que las proteínas desempeñan una serie de funciones indispensables en el cuerpo, y sin las cuales no se podría subsistir.

Para entender el rol y la importancia de las proteínas, primero debemos presentar a los aminoácidos (AA), los cuales son moléculas orgánicas que deben su nombre a la presencia simultánea de dos grupos funcionales, el amino ($-\text{NH}_2$) y el carboxilo ($-\text{COOH}$).

Estos dos grupos, presentes en los extremos de la molécula, reaccionan con los de otros AA formando un enlace peptídico y así van formando moléculas cada vez más grandes. Por definición, la unión de 2 a 100 AA se considera un péptido, y a la unión de 100 AA o más se considera una proteína, tal como se puede apreciar en la **Figura 1**.

La necesidad del consumo de proteínas radica en que estas son la fuente principal de AA, los cuales proporcionan energía y nitrógeno a las reservas del cuerpo. Existen principalmente 20 tipos de AA, llamados proteinogénicos porque son los que se utilizan durante el proceso de traducción de proteínas (proceso por el cual el ARN mensajero se acopla a un ribosoma para que luego se genere una cadena de AA en forma de proteínas), y que el organismo utiliza para

construir los miles de tipos de proteoformas presentes en el ser humano (más de veinte mil tipos de proteoformas) si se considera que cada gen codificador (un rango de 19 587 a 20 245 genes identificados) está asociado a una proteoforma, o unas setenta mil si se incluye el efecto de variantes de empalme (*alternative splicing*)^{1,2}. Estos veinte AA (**Figura 2**) se separan en un primer grupo que contiene once AA dispensables dado que se pueden sintetizar en el cuerpo a partir de otras moléculas, y un segundo grupo con 9 AA que son nutricionalmente esenciales o indispensables, dado que no se pueden sintetizar en el cuerpo y se obtienen exclusivamente por la dieta³.

Entender los propósitos de las proteínas en el cuerpo nos invita a recordar que la información genética, almacenada en los seres vivos en forma de ácido desoxirribonucleico (ADN), tiene el fin de expresarse o convertirse en proteínas para una serie de funciones esenciales, siendo las que se detallan a continuación las más destacadas⁴:

1. **Enzimática.** El propósito de las enzimas es catalizar o acelerar reacciones químicas en el cuerpo. Un ejemplo son las lipasas, que cortan en fragmentos más pequeños moléculas de origen graso o lipídico como los triglicéridos;
2. **Estructural.** El fin de las proteínas estructurales es darle mantenimiento y formación a la estructura de las células. Un ejemplo bien conocido es el colágeno extracelular que le da forma a nuestra piel, cartílago, tendones, entre otros;
3. **Almacenaje.** Las proteínas de este tipo se usan para tener reservas de aminoácidos en el cuerpo, pero también pueden almacenar nutrientes “secuestrados” como el hierro, siendo la ferritina la proteína que cumple

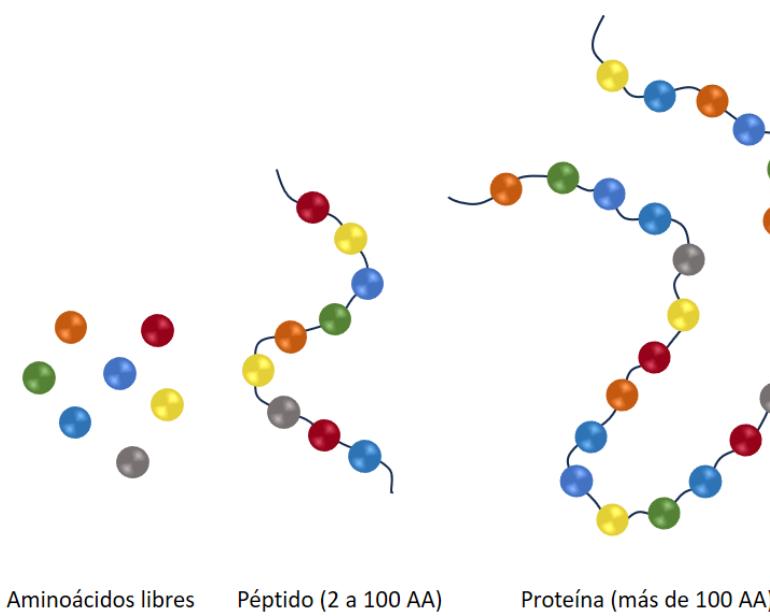


Figura 1. Designación de moléculas basada en la cantidad de aminoácidos. Los péptidos se consideran uniones de 2 a 100 aminoácidos, y las proteínas uniones a partir de 100 aminoácidos o más.

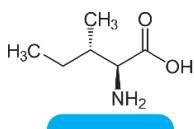
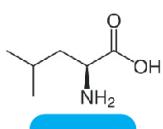
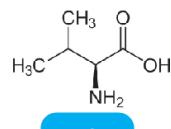
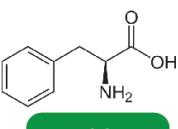
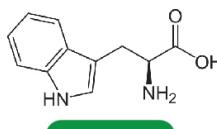
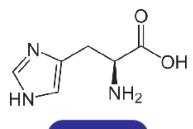
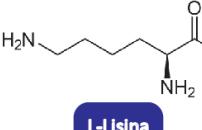
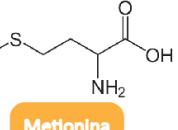
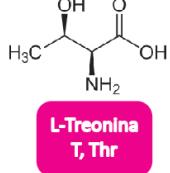
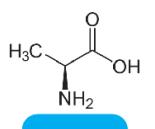
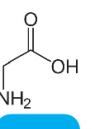
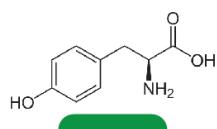
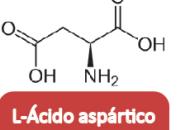
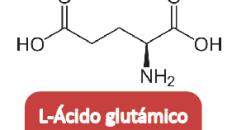
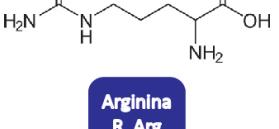
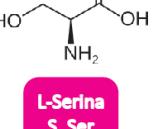
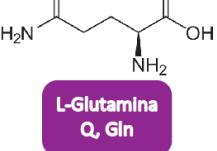
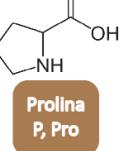
Aminoácidos esenciales	Aminoácidos no esenciales
 L-Isoleucina I, Ile	 L-Leucina L, Leu
 L-Valina V, Val	 L-Fenilalanina F, Phe
 L-Triptófano W, Trp	 Histidina H, His
 L-Lisina K, Lys	 Metionina M, Met
 L-Treonina T, Thr	
	 L-Alanina A, Ala
	 Glicina G, Gly
	 L-Tirosina Y, Tyr
	 L-Ácido aspártico D, Asp
	 L-Ácido glutámico E, Glu
	 Arginina R, Arg
	 L-Cisteína C, Cys
	 L-Serina S, Ser
	 L-Asparagina N, Asn
	 L-Glutamina Q, Gln
	 Prolína P, Pro
	● Alifático ● Aromático ● Ácido ● Básico ● Azufrado ● Hidroxílico ● Amídico ● Cíclico

Figura 2. Los 20 aminoácidos proteinogénicos clasificados por esenciales y no esenciales en la dieta. Cada estructura tiene debajo el nombre completo del aminoácido, su código de letra única y su código de tres letras. Se mencionan características químicas de acuerdo con cada color de la leyenda.

esa función⁵;

- Señalización.** Ciertas proteínas funcionan como mensajeros entre células para comunicarlas ante estímulos o requerimientos del cuerpo;
- Transporte.** Hay proteínas que funcionan para mover diferentes tipos de moléculas a lo largo del cuerpo como el caso del O_2 que se fija a la proteína hemoglobina durante el proceso respiratorio;
- Defensa contra patógenos como virus o bacterias.** Ciertas proteínas como los anticuerpos (también conocidos como inmunoglobulinas) son liberados para atacar a organismos no deseados y destruirlos.

En los siguientes bloques del presente trabajo se plantea presentar la situación mundial con respecto al consumo de proteínas y las posibles soluciones para satisfacer la demanda por el crecimiento de la población.

Se presentarán alternativas en alimentos cárnicos y luego alternativas en lácteos, que son los dos grandes bloques en fuentes de proteína. Por último, se comentarán algunas apreciaciones a futuro.

PREOCUPACIÓN PROTEICA MUNDIAL Y POSIBLES SOLUCIONES

Se estima que la población mundial aumente hasta ~9 700 millones de personas para el año 2050, con lo que el sistema alimentario global tiene como tarea buscar soluciones sostenibles para satisfacer la enorme demanda esperada para tal cantidad de personas (actualmente somos aproximadamente ocho mil millones). En 1987, con la publicación del informe de Brundtland titulado "Nuestro

“futuro común”, nace el concepto base de los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS), que luego llevaría a la ONU en el año 2000 a plantear los 8 Objetivos de desarrollo del milenio (ODM), centrados más en pobreza y salud, aunque para tal año todavía no se consideraba el desarrollo sostenible, y que por diversas limitaciones no se alcanzarían los objetivos. Luego, para el año 2015 se plantearían nuevos y los actuales objetivos de desarrollo sostenible, con un total de 17 ODS, que buscan satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones, entrelazando el aspecto económico, social y ambiental. Esta agenda está establecida hasta el año 2030 para evaluar los avances con respecto a tales objetivos.

Con este crecimiento poblacional, el potencial aumento de la producción de alimentos que se requiere lleva en la actualidad generando problemas como el incremento de gases de efecto invernadero (GEI) asociado a la ganadería dedicada a la producción de alimento cárnico, a la pérdida de biodiversidad que podría darse en el caso de aumentar la superficie de campos de cultivos para la producción agrícola con la consecuente reducción de áreas con vegetación, hasta desafíos logísticos como la cadena de suministro, distribución y manejo de desperdicios, entre otros⁶. Para hablar de emisiones GEI, es importante mencionar que los principales gases de efecto invernadero son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3), aunque cada tipo de gas tiene un diferente potencial de calentamiento global. Usualmente se usa el dióxido de carbono como gas de referencia para comparar el impacto de los otros en unidades equivalentes de CO_2 (CO_2 -eq).

En el caso de la producción de alimentos proteicos de origen animal, si es que las conductas actuales se mantienen dado el aumento en el consumo de carne roja sin procesar, huevos, leche, carnes procesadas, mariscos, queso y yogurt en varias zonas geográficas como el sureste de Asia, India y China, se estima que habrá un aumento del 21% en el consumo de carne per cápita y un aumento del 63% en el consumo total y en las emisiones de GEI en caso no se busquen soluciones alternas⁷. Esto se sospecha que se deba principalmente a un aumento en la disponibilidad de estos productos y un mayor poder adquisitivo. Como ejemplo, se puede mencionar el caso de China que, desde los años 90 hasta la década de los años 2000, ha hecho una transición nutricional de una dieta rica en vegetales y carbohidratos a una de mayor ingesta de alimentos de origen animal, la cual fue impulsada por un rápido cambio económico, innovaciones tecnológicas en el sector de alimentos, el marketing asociado y ciertas conductas occidentales sobre preferencias en la dieta que ha resultado también en un aumento de peso en niños y adultos⁸.

Una posible solución es la transición en los hábitos alimenticios con respecto al consumo de carnes rojas, dado que dos tercios del total de emisiones GEI en la industria alimentaria se debe a alimentos de origen cárnico y predominantemente por la contribución de las carnes rojas.

Se considera que, al disminuir su consumo y aumentar el de fuentes vegetales de proteína como legumbres, raíces y tubérculos, se podría disminuir la generación de GEI hasta en un 50% dependiendo el tipo de dieta semi-vegetariana, vegetariana o vegana⁹. Esto se ve reflejado en dietas como la india o peruana donde se reportan puntuaciones bajas de huella de carbono debido al alto consumo de alimentos vegetales y bajo consumo de productos animales, mientras que las dietas nórdicas y las de Europa occidental tienen una mayor huella de carbono debido al mayor índice de productos lácteos. Adicionalmente, se puede considerar cambiar la carne de vacuno por el consumo moderado de aves de corral o cerdo para también disminuir los GEI¹⁰. Esto se debe a los factores que se enumeran a continuación: **1)** los rumiantes tienen una fermentación entérica (microorganismo en su estómago) tal que digieren la celulosa para generar metano como un subproducto, el cual es un GEI de alto impacto, mientras que los cerdos y aves no; **2)** las vacas necesitan una mayor cantidad de comida y agua para generar un kilo de carne, con aproximadamente 6 a 10 kg de alimento para generar 1 kg de carne, mientras que los cerdos necesitan 3 a 4 kg de alimento/kg de carne, y las aves de 1.5 a 2 kg de alimento/kg de carne; y finalmente temas como deforestar amplias zonas para lograr tener un establo eficiente para las vacas, comparado con espacios más reducidos para cerdos y mucho más reducidos para aves¹¹. Un ejemplo de ello se puede observar en la **Figura 3** donde un estudio realizado para la población de Suecia presenta las cantidades estimadas de GEI producidas por tipo de dieta y cómo cada tipo de alimento contribuye a estos niveles. Lo resaltante es identificar cómo al reducir el consumo de carne -identificado en la figura como "carne reducida"-, las emisiones GEI pueden disminuir considerablemente comparado con el consumo habitual, y en caso de que se considere una dieta vegetariana o vegana, las emisiones disminuyen aún más.

Otra solución puede ser a través de cultivos celulares para satisfacer la demanda de productos cárnicos. Al obtenerse un producto que genera mucho menos GEI, se promueve el cuidado animal (pues no se sacrifica) y aumenta la inocuidad al ser hecho por vías con menor riesgo de contaminación. También existe la alternativa de generar alimentos que imiten la carne. Seguidamente se profundiza más en cada una de estas dos estrategias y se menciona también el rol que los gobiernos deberían tener en estos cambios.

1 Carne celular

La carne celular es aquella carne producida a partir de células madre para intentar imitar la carne tradicional del animal. Existen muchos términos actuales para referirse a esta como carne de laboratorio, cultivo de carne, carne *in vitro*, carne artificial, carne sintética, o también ‘carne limpia’ como algunos que trabajan en esta industria prefieren promocionarla, en comparación a la producción tradicional de carne que se podría considerar ‘sucia’, debido al proceso de sacrificar al animal y mantener un control de limpieza para asegurar la inocuidad del alimento¹³. El proceso de producción se esquematiza en la **Figura 4**. El proceso empieza por una

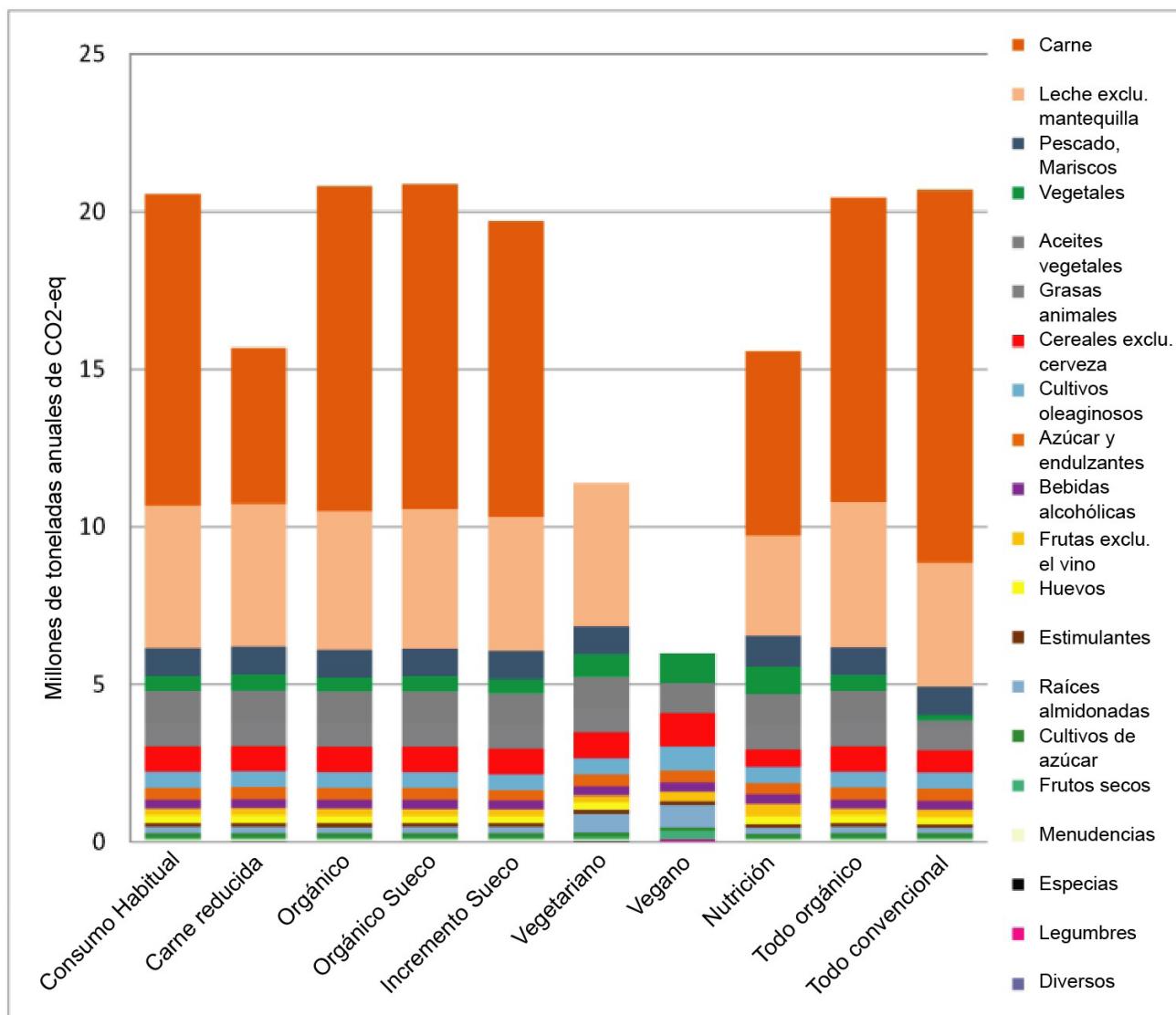


Figura 3. Impacto en la generación de CO₂-eq por tipo de dieta y la contribución por tipo de alimento. El **consumo habitual** refiere a un escenario actual sin cambios, **carne reducida** supone una reducción del 50% en consumo de carne, **orgánico** asume un incremento del 200% en alimentos orgánicos, **orgánico sueco** es un incremento del 200% en alimentos orgánicos solo para Suecia, **incremento sueco** supone un incremento del 30% en comida sueca (con reducción de importación), **vegetariano** es un escenario “semi-vegetariano” con un incremento en el consumo de frijoles, soya y vegetales, **vegano** es el no consumo de alimentos cárnicos, lácteos o pescado con el incremento de vegetales, frutas, legumbres y nueces, **nutrición** utiliza los lineamientos de la ‘Swedish Dietary Guidelines’, **todo orgánico** evalúa el escenario de reemplazar todos los alimentos convencionales por orgánicos y, finalmente, todo convencional supone reemplazar todos los alimentos orgánicos por convencionales. **Exclu.** Hace referencia a excluyendo ese tipo de alimento. Modificado de Martín M, Brandão M. *Evaluating the Environmental Consequences of Swedish Food Consumption and Dietary Choices. Sustainability 2017, Vol 9, Page 2227. 2017;9(12):2227.*¹² Licencia CC BY.

biopsia del animal y después se aíslan las células madre del resto de fibras. El tercer paso es colocar las células en un medio especial para que proliferen (en el caso de la aplicación industrial se optimizan y varían los parámetros), y el cuarto paso implica generar una estructura 3D biocompatible para la adhesión de las células y que estas sigan proliferando y se diferencien. El quinto paso consiste en colocar la estructura en un biorreactor de condiciones controladas para la maduración y, finalmente, se extrae el producto terminado¹⁴. La complejidad

de este proceso presenta muchos desafíos para escalarlo industrialmente, como se menciona a continuación¹⁵:

1. la mejora del medio utilizado durante el cultivo celular al remover diferentes componentes para asegurar la inocuidad, controlabilidad y precisión del proceso;
2. la reducción del costo de los ingredientes utilizados en el medio de cultivo, dado que el costo actual de procesamiento de los cultivos es de US\$ 66.40/kg a US\$

2200.50/kg, mientras que el costo por pollo es de US\$ 2.10-3.90/kg, el de ganado vacuno es de US\$ 5.60-10.20/kg y el de cerdo es de US\$ 2.70-7.10/kg;

3. la construcción de biorreactores inteligentes que puedan reproducir un ambiente equiparable al organismo vivo para las células *ex vivo*;
4. el diseño de estructuras para el crecimiento celular que sean degradables o comestibles, que tengan propiedades mecánicas como porosidad y flexibilidad para permitir la entrada de gases y materiales nutritivos y la salida de desechos metabólicos y, finalmente, áreas superficiales específicas y grandes para la correcta adhesión, afinidad y compatibilidad celular.

A todo esto, se debe añadir el factor de las expectativas y aceptación por parte de la población ante una tecnología y producto emergentes que, si bien puede generar una desconfianza o rechazo inicial, algunos estudios han demostrado un incremento en la aceptación luego que a las personas se les otorga toda la información y se les comunica sobre los beneficios sostenibles¹⁶.

2 Alimentos que imiten la carne

Una alternativa similar a la anterior para reemplazar parte de los alimentos de origen cárnicos es optar por

alimentos en base a plantas o insectos que simulen o imiten el parecido a la carne. La opción en base a insectos tiene una alta capacidad de reducir la huella de carbono originada por alimentos. De hecho, se cree que se puede disminuir hasta el 88% del potencial de calentamiento global en el caso de utilizar insectos y que estos se críen con alimentos provenientes de corrientes secundarias (*sidestreams*) en lugar de alimentos producidos industrialmente. Sin embargo, para ello es necesario enfocar esfuerzos en un eficiente escalamiento industrial y tener precios asequibles para los consumidores, además de mantener un control de la higiene y someterse a las regulaciones correspondientes¹⁷.

Si bien esto puede parecer una alternativa novedosa, en especial en países europeos, varios países asiáticos tienen una larga historia de incluir diferentes tipos de insectos en sus costumbres culinarias. Tal es el caso de China, con una tradición de más de 2000 años en esta práctica, en la que actualmente documentan unos 324 tipos de insectos como comestibles o asociados con la entomofagia (práctica de comer insectos), que incluso incluyen insectos con fines medicinales, aunque las costumbres suelen enfocarse solo en la ingesta de 10 a 20 tipos de insectos¹⁸. A nivel mundial las especies más consumidas son los coleópteros (comúnmente conocidos como escarabajos, 31%), seguidos de los lepidópteros (orugas, 18%), los himenópteros (abejas, avispas, hormigas, 14%) y los ortópteros (saltamontes, langostas y grillos, 13%).

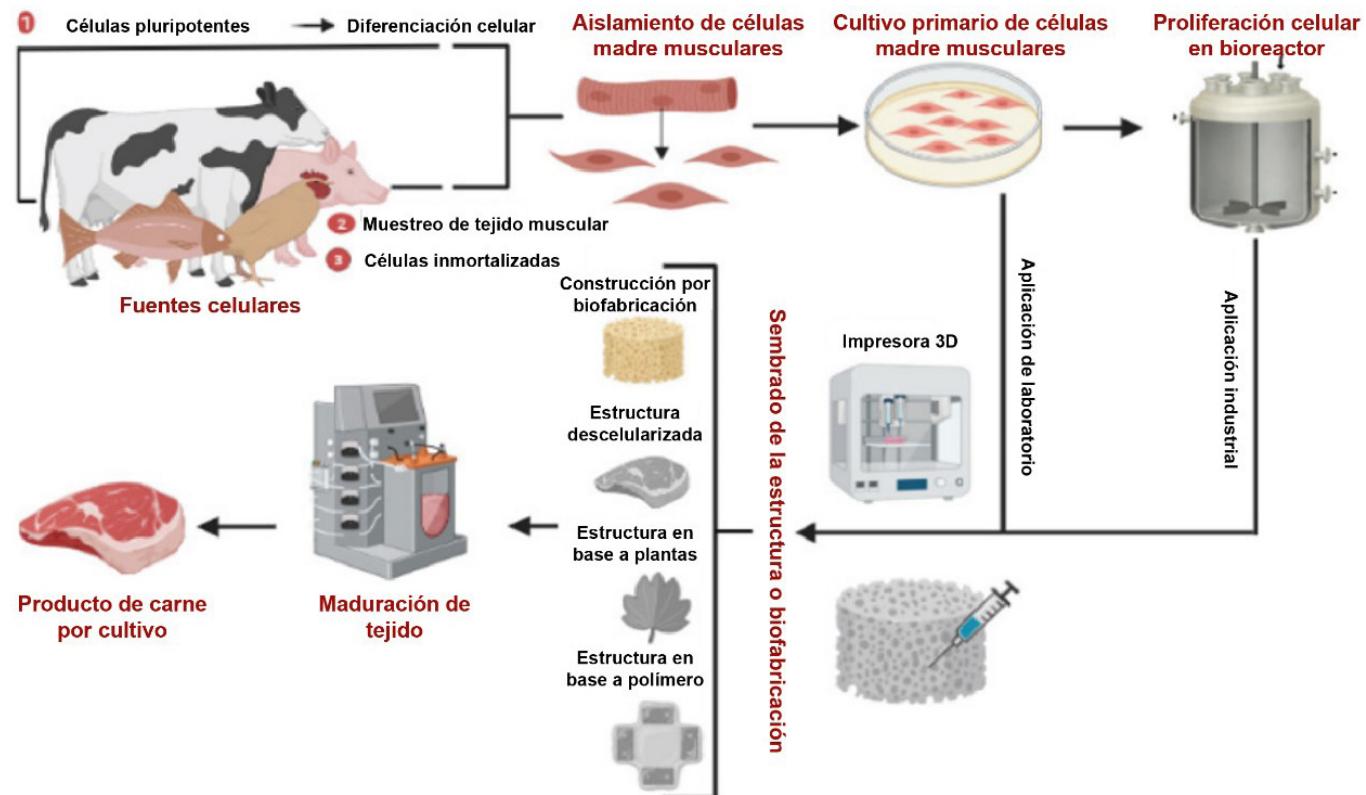


Figura 4. Proceso de cultivo para la generación de carne celular. Modificado de Lanzoni, D.; Bracco, F.; Cheli, F.; Colosimo, B.M.; Moscatelli, D.; Baldi, A.; Rebucci, R.; Giromini, C. *Biotechnological and Technical Challenges Related to Cultured Meat Production*. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 6771. Licencia CC-BY.

En el Perú, la práctica de la entomofagia no ha sido muy estudiada y por ende poco documentada, pero la evidencia más antigua se puede trazar a unos 4220 años de antigüedad, y la cual sigue siendo una práctica principalmente en la zona selvática, con cierta prevalencia en la zona de la sierra y con índices muy bajos en la zona de la costa. Las especies más consumidas de insectos en el Perú son los holometábolos, entre ellos las abejas, avispas, hormigas, escarabajos y mariposas¹⁹.

Hoy en día, en el mercado global, ya se encuentran iniciativas y alternativas basadas en insectos como barras nutricionales, hamburguesas, mantequillas, galletas, polvos proteicos, entre otros. La barrera principal que se debe superar es el miedo de las personas, en especial del lado occidental, que suele tener una mentalidad negativa y de repulsión ante este tema, en el que las causas radican en aspectos psicológicos, sociales, religiosos, y de naturaleza antropológica²⁰. Por ejemplo, un estudio realizado a 1000 consumidores en Finlandia mostró que la opción de cambio de alimentos proteicos basados en animales por alimentos basados en plantas o insectos es más recurrente en mujeres y jóvenes con un foco orientado a la salud y sostenibilidad, en comparación con hombres y personas mayores que prefirieron los productos tradicionales basados en carne. En la actualidad, el consumo de proteínas basadas en plantas, como las legumbres, cereales, frutos secos, semillas, vegetales y productos derivados de soya es mucho más aceptado que las de insectos, pero esta diferencia se puede acortar conforme las innovaciones a futuro mejoren las características de los nuevos productos como su sabor, facilidad de uso, salud, sostenibilidad y coste económico²¹.

3 Intervención gubernamental

Un esfuerzo adicional y necesario es la contribución de los gobiernos en concientizar a la población a través de la comunicación y políticas gubernamentales para promover estrategias que incentiven la producción de alimentos más sostenibles y saludables. Un estudio clínico de intervención llevado a cabo por Wolfson *et al.*²² muestra la posibilidad de obtener una respuesta positiva por parte de los participantes cuando se les presenta un menú con opciones que clasifican a los alimentos en aquellos con bajo o alto impacto climático. El estudio obtuvo entre sus resultados que 23% más de los participantes ordenó el menú con bajo impacto climático comparado con el grupo de control. Esto nos da noción de que suministrar información a las personas es una herramienta útil para crear una conciencia de cambio.

LÁCTEOS Y PRODUCTOS ALTERNOS

I Características de la leche vacuna

Otra fuente de proteína muy consumida a nivel global es la leche de vaca y los derivados lácteos como el queso,

yogurt o kéfir. Históricamente hablando, la primera evidencia de ordeño de ganado vacuno se remonta al año 4000 a.C., por los agricultores neolíticos en Gran Bretaña y el norte de Europa, quienes ordeñaban ganado para consumo humano²³. Ese conocimiento y tradición se fue incrementando a través de los años hasta que, en la década de los años 1950, durante el proceso de industrialización, y debido a una alta demanda de alimentación de las áreas urbanas en rápido crecimiento, se impulsó también el aumento de la industria lechera. En esta época surgen numerosas mejoras: la tecnología se actualiza para aumentar la eficiencia en las granjas y así producir mayor cantidad de leche, mejoran las prácticas de gestión para la distribución y competitividad en el mercado, así como las prácticas de alimentación y crianza mediante la optimización del espacio y programas de manejo de la salud de los animales, entre otras. En el año 2020 se registraron en el mundo alrededor de 265 millones de vacas lecheras de diferentes razas, que produjeron aproximadamente 906 millones de toneladas de leche²⁴.

La razón principal de esta larga tradición en el consumo de leche se debe a su alto valor nutricional y a los beneficios que aporta a la salud pues sus nutrientes son importantes para el crecimiento y desarrollo de los infantes, así como también forman parte de una dieta balanceada. La composición aproximada de la leche bovina es ~87,5% de agua, entre 3 y 6% de lípidos, ~3,4% de proteínas, ~5,2% de lactosa y ~1,5% de minerales. Alrededor del 96-98% de los ácidos grasos presentes en la leche son triglicéridos, mientras que el resto se presenta como ácidos grasos libres, colesterol, diglicéridos, monoglicéridos y fosfolípidos²⁵. Con un pH de 7,35 a 7,45, la leche contiene también una variedad de minerales que incluyen citrato, fosfato, cloruro, potasio, sodio, magnesio, calcio, zinc y selenio. También están presentes algunas vitaminas como la vitamina E, la vitamina A, la biotina (B7), la riboflavina (B2) y la cobalamina (B12)²⁶. Con respecto a las características físicas de la leche, su parte estructural más relevante es su división en proteínas de caseína ~80% (compuestas por las proteínas α_{s1} , α_{s2} , β y κ -caseína) y proteínas de suero ~20% (también llamadas proteínas Whey). Las proteínas de caseína, que son la cantidad dominante, se empaquetan en micelas, es decir, estructuras esféricas conformadas por una parte afín al agua y por otra afín a lípidos, como se puede apreciar en la **Figura 5**, y que tienen una función biológica de transportar calcio y fosfato, y formar un coágulo en el estómago para una digestión eficiente. Las proteínas de suero tienen una estructura globular con una mayor afinidad por el agua y, por lo general, son un subproducto de la producción de queso. Posteriormente, se pueden utilizar para producir otros quesos como ricota, queso marrón o suero concentrado como ingrediente funcional para otros procesos como la pastelería o como alimento para animales²⁶.

Para ser capaces de entregar este producto prácticamente intacto, las industrias lácteas aplican una serie de tratamientos térmicos que les permiten mantener las propiedades organolépticas, mientras que también se mantiene una adecuada inocuidad. Este último punto es

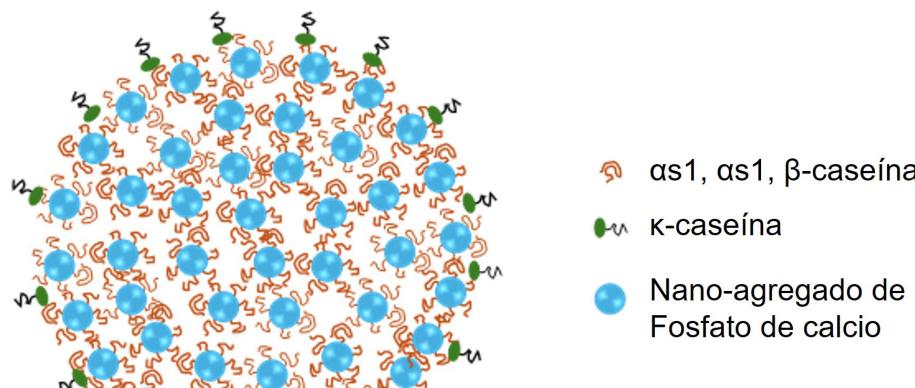


Figura 5. Estructura referencial de una micela de caseína compuesta por una capa externa de proteínas κ-caseína y una parte interna con αs1, αs2 y β-caseína rodeando nano agregados de fosfato de calcio.

importante debido a que la matriz de la leche es también un perfecto espacio para fomentar el crecimiento de todo tipo de microorganismos que, si no se controlan adecuadamente, pueden ser un riesgo tanto para la composición del producto como para la salud humana, pues pueden ocasionar desde cuadros leves de diarrea, fiebre leve, dolor muscular, náuseas y vómitos, hasta cuadros severos como infecciones del tracto urinario, meningitis y septicemia^{27,28}.

La leche puede albergar microbios como bacterias gram-negativas, coliformes, bacterias psicrotróficas aerobias, bacterias formadoras de esporas, levaduras y mohos. Hay cuatro tipos de bacterias que son causantes de la mayoría de los casos de enfermedad reportados por consumo de leche sin tratar o con erróneo tratamiento: *Listeria*, *Salmonella*, *Campylobacter* y *E.Coli* verotoxigénica. Las causas de contaminación suelen provenir del interior y el exterior de la ubre, las superficies de manipulación del producto, los equipos de almacenamiento y el entorno cercano como el estiércol y el material de las camas de las vacas, que pueden contener microbios hasta una concentración de 10^5 UFC/mL²⁹. Por ello, es necesario reducir o eliminar la mayor cantidad de microorganismos de la leche a través de diferentes tratamientos térmicos en los que se varía el tiempo y la temperatura utilizados como la pasteurización (a 63 °C por 30 min o entre 72 y 75 °C por 15 segundos) o el tratamiento a ultra alta temperatura (UHT, por sus siglas en inglés, a 135-150 °C por 1-10 segundos)²⁹. Adicionalmente, se debe considerar que el tratamiento térmico debe ser controlado dado que una excesiva aplicación puede ocasionar la degradación de componentes como la lactosa (que pasa a ácidos orgánicos o lactulosa), la desnaturalización de proteínas de suero, la destrucción de vitaminas y enzimas, la hidrólisis de proteínas y lípidos, y la disruptión del equilibrio de calcio y fósforo³⁰.

La desnaturalización de proteínas debido al tratamiento térmico en los procesos industriales altera la composición de la leche dándole un “sabor cocido”, cambio del color, disminución del valor nutricional y digestibilidad, y

fomentar la agregación y sedimentación de las proteínas³¹. Esto se debe en parte a algunas reacciones como se puede apreciar en la **Figura 6**, donde se destacan dos mecanismos para la generación de cuatro productos de degradación: lantionina (LAN), lisinoalanina (LAL), Nε-(1-carboximetilo)-L-lisina (CML) y Nε-(1-carboxietilo)-L-lisina (CEL).

El primer mecanismo, el independiente del azúcar, comienza por la β-eliminación de algún AA con modificación o sin modificar como la serina, fosfoserina, glicoserina, cisteína o cistina para convertirse en dehidroalanina (DHA). Luego, el alqueno del DHA puede reaccionar con un AA de la misma proteína o de otras proteínas para generar un entrecruzamiento por la adición de Michael y así formar el compuesto LAN en caso de que el DHA reaccione con cisteína; o el compuesto LAL, en caso de que el DHA reaccione con lisina.

El segundo mecanismo, el dependiente del azúcar (reacción de Maillard), requiere un azúcar reductor, como glucosa, galactosa o lactosa para que reaccione con un AA de una proteína, principalmente lisina, y se forme una base de Schiff. Luego este compuesto intermedio sufre un rearrreglo para formar un producto de Amadori más estable que con el tiempo reacciona múltiples veces hasta formar productos finales de glicación avanzada (AGEs, por sus siglas en inglés) como el CML y el CEL. Adicionalmente, el CML se puede formar a través de la oxidación de los productos de Amadori al reaccionar con la lisina de otra proteína. Como control de los procesos, se puede realizar una hidrólisis ácida de los productos de Amadori para estudiar las etapas tempranas de la reacción de Maillard al formar compuestos como la furosina. Es importante mencionar que estos mecanismos son competitivos debido a la cantidad de lisina disponible y la cantidad de azúcar presente, lo que hace que se favorezca una vía o la otra. Además, el almacenamiento prolongado de la leche favorece el incremento de la cantidad y tipos de AGEs en la formación de productos de glicación avanzada, los cuales toman tiempo en formarse³².

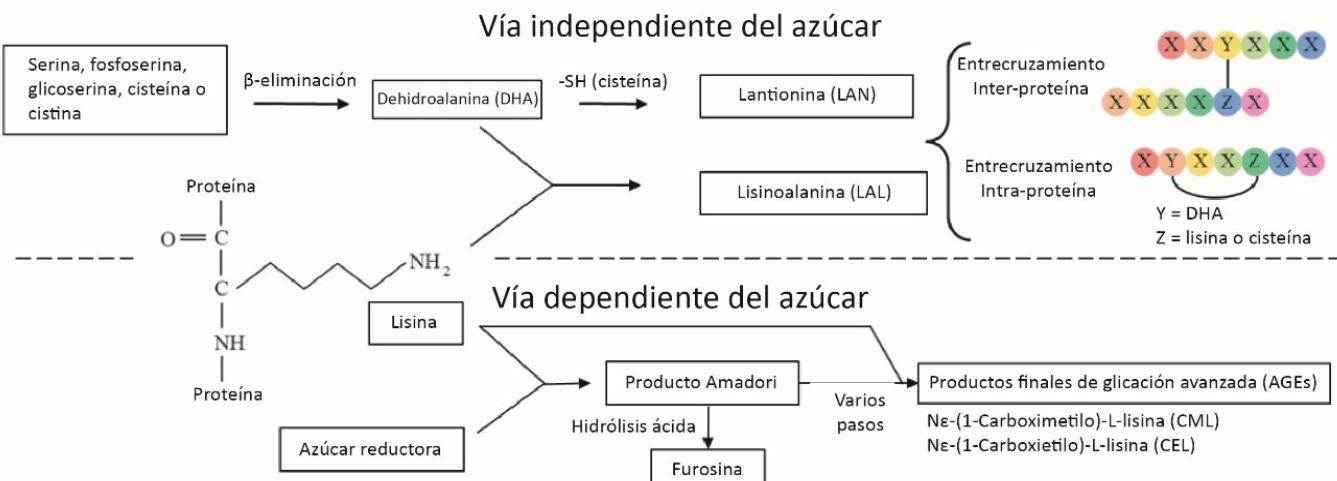


Figura 6. Modificaciones proteicas inducidas por el procesamiento de la leche debido a un mecanismo independiente de azúcar y un mecanismo dependiente del azúcar por la reacción de Maillard. Modificado de Nielsen SD, Knudsen LJ, Bægaard LT, Rauh V, Larsen LB. [Influence of Lactose on the Maillard Reaction and Dehydroalanine-Mediated Protein Cross-Linking in Casein and Whey](#). *Foods*. 2022, 11(7). Reproducido con licencia CC BY.

2 Alternativas a productos lácteos

En los últimos años, se ha observado que ha aumentado el número de personas que buscan alternativas a los productos lácteos por alergias, intolerancias, motivos religiosos o ideológicos, lo cual ha llevado a un aumento en la cantidad y tipos de productos fabricados de origen vegetal para llenar ese vacío de mercado. Estos pueden ser una buena alternativa, especialmente como una opción más económica específicamente en lugares donde la producción de leche de vaca es insuficiente³³. El incremento en la popularidad de los lácteos de origen vegetal en el mundo occidental se evidencia en el comportamiento de su índice de consumo. De acuerdo con las proyecciones, se espera que el mercado global experimente un crecimiento sostenido, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR, por sus siglas en inglés) del 12,5 % durante el periodo comprendido entre 2021 y 2028. Este indicador refleja el porcentaje promedio anual de incremento en el valor del mercado. Bajo estas condiciones, se prevé que el sector alcance un valor aproximado de 20 500 millones de dólares al finalizar dicho intervalo temporal³⁴.

Si bien la leche vegetal se puede fabricar en base a casi cualquier cereal, legumbre, nuez o semilla, las presentaciones más comunes suelen ser leche de almendras, de arroz, de soya, de coco, de avena y de guisantes. El proceso de manufactura tiene una serie de pasos generales que se enumeran a continuación³⁵:

1. molienda seca o húmeda del material vegetal en crudo,
2. filtración para remover partículas gruesas,
3. adición de azúcar, grasas, vitaminas, saborizantes y estabilizantes para llegar a una formulación establecida,
4. homogenización para obtener tamaños de partículas equivalentes,

5. tratamiento térmico por pasteurización, esterilización o UHT para mejorar la suspensión y estabilidad microbólica,
6. empaquetado estéril para la venta y distribución.

Cada tipo de vegetal puede requerir pasos extra como el tostado (para mejorar el sabor y el aroma, similar al proceso en granos de café), o un paso de cocción por escaldado para inactivar los inhibidores de tripsina y lipoxygenasa, que son responsables del sabor desagradable en el producto final de algunas plantas³⁵.

Con respecto al impacto ambiental de las leches de origen vegetal, la mayoría de los estudios de revisión coinciden en que su producción es más sostenible comparada con la de la leche animal en términos de potencial de calentamiento global, acidificación, eutrofización y uso de campos. Sin embargo, existen puntos críticos de mejora para mitigar las emisiones GEI en ambos tipos de producción. Para el caso de la leche de origen animal, las áreas prioritarias incluyen el control de la fermentación entérica, la mejora en el manejo del estiércol y las estrategias de alimentación, mientras que, en el caso de la leche de origen vegetal, las emisiones provienen del procesamiento, el envasado y el transporte^{36,37}.

Es importante mencionar que, desde un punto de vista nutricional, la leche de origen vegetal tiene menor cantidad de proteínas, minerales y vitaminas en comparación con la leche de vaca, a menos que se fortifique con nutrientes, ya sea con productos a base de legumbres o en combinaciones de una bebida a base de avena con adición de proteína de guisante. Además, hay que sumar que es difícil mantener una percepción sensorial estable en las leches de origen vegetal debido a la variabilidad de las materias primas usadas y a que se suelen evitar aditivos (especialmente endulzantes) para no

disminuir su valor nutricional. La necesidad de incrementar el contenido de fibra para aportar mayor valor nutricional puede resultar también en sabores y olores no deseados, dándole a la leche vegetal un perfil amargo y astringente, lo cual es rechazado por el consumidor^{34,35}.

No solo es posible producir leche en base a vegetales, sino que también es posible obtener quesos en base a plantas. En estos casos la estructura se consigue imitar gracias a la capacidad de polisacáridos como el almidón, alginato, carragenina o goma guar para formar una pasta viscosa al calentarse y luego enfriarse, que atrapa fluidos y otros ingredientes dentro de la red tridimensional formada por los polisacáridos³⁸. Esto se lleva a cabo de la manera mencionada debido a la ausencia de micelas de proteínas que ocurren naturalmente en la leche de vaca y que precipitan formando un coágulo bajo la acción de enzimas como la quimosina o pepsina.

En el caso de la percepción sensorial de quesos en base a plantas, también llamados “quesos veganos”, se tienen resultados variables dependiendo de la proteína base que se escoja, tal como se muestra en una investigación por Chavarri-Uriarte *et al.*³⁹ con participantes de más de 18 años en una universidad peruana. En el estudio se presenta que quesos fortificados con proteína aislada de lupino obtuvieron altas calificaciones de aceptabilidad en atributos sensoriales como el color, textura, sabor y olor; quesos fortificados con proteína aislada de garbanzo tuvieron una buena calificación para el gusto; y, por otro lado, los quesos fortificados con frejol negro tuvieron una puntuación baja en todos los atributos mencionados. El desafío recae principalmente en que los ingredientes de origen vegetal no imitan con precisión las características sensoriales (sabor, gusto y aroma) y físicas (sensación en boca y capacidad de derretirse) del queso lácteo, lo que limita la aceptabilidad del consumidor⁴⁰.

3 Leche celular

La agricultura celular de leche, basada en una ideología y tecnología similar a la mencionada en el apartado de la carne celular, se define como un conjunto de técnicas para la fabricación de productos mediante métodos de cultivo celular. Esto abre la posibilidad a producir leche sin la necesidad de involucrar grandes cantidades de animales y, con ello, a crear el potencial de producir leche en partes del mundo donde es extremadamente difícil. Este sería, por ejemplo, el caso de Canadá donde la crianza del ganado vacuno es impráctica y, por ende, el precio de productos lácteos asciende a 1,48 veces el precio normal en otros lugares. La producción de leche celular también abre la posibilidad de producir leche con un contenido modificado de macro- y micronutrientes para mejorar su valor nutricional y sabor⁴¹. Otro factor favorable es el fuerte componente ambiental asociado, pues se estima que un sistema óptimamente establecido basado en la producción celular puede reducir el uso de agua en un 98%, el uso de la tierra entre 77 y 91%, el uso de energía entre 24 y 48% y las emisiones de gases de efecto invernadero entre 35 y 65%. Por

último, se encuentra el aspecto ético por parte de personas vegetarianas, veganas o defensoras de los animales, que prefieren consumir alimentos evitando la explotación animal⁴¹.

De los grandes problemas asociados con esta innovación siguen siendo los altos costos de fabricación, pues producir un litro de leche celular escala a más de 5000 dólares estadounidenses, mientras que un litro de leche de vaca está alrededor de solo un dólar. Por otro lado, está la aceptación de parte de los consumidores para el uso de organismos genéticamente modificados (GMO, por sus siglas en inglés) en el ámbito alimentario, dado que la producción de leche celular utiliza la tecnología de fermentación de precisión que se basa en modificar microorganismos para que produzcan una serie de moléculas deseadas⁴².

APRECIACIONES Y MIRADA HACIA EL FUTURO

Como se ha mencionado, existen varias alternativas para reducir el consumo de alimentos de origen animal, pero a la fecha se tiene poca información de estudios que evalúen la escala global y el impacto final que podría tener la agricultura celular o incluso los alimentos en base a plantas que llevan un mayor tiempo en el mercado. En consecuencia, se requiere tiempo para poder desarrollar y mejorar las tecnologías que apunten hacia un escalamiento industrial capaz de suministrar a una gran parte de la población. Esto debe ir acompañado de una actitud individual comprensiva y abierta al cambio para lograr modificar paso a paso ciertos hábitos alimenticios a nivel poblacional, que luego se vean apoyados por parte de entes gubernamentales para fomentar iniciativas en las empresas. Esto es especialmente importante en países latinoamericanos y de Asia donde se percibe que existe una tendencia mantenida de aumento de consumo de alimentos en base a animales, a pesar de que hay países como Perú donde se mantenía tradicionalmente una dieta más orientada a legumbres, tubérculos, cereales y carne avícola³⁹.

Por otro lado, la mayoría de las investigaciones actuales concuerdan en que, al reducir el consumo de alimentos de carnes rojas optando por dietas en base a pescado, vegetarianas o veganas, se pueden reducir las emisiones de GEI, el uso de campos y la demanda energética⁴⁴⁻⁴⁶. Sin embargo, un factor a considerar en la dieta vegana es la incrementada exposición a sustancias tóxicas debido al mayor consumo de vegetales que contienen pesticidas, insecticidas y metales como el manganeso, selenio, cobre y cromo. Aunque es posible reducir esta exposición con el consumo de alimentos orgánicos, esto podría no ser manejable a gran escala¹². Por ello, una opción viable parece ser reducir los alimentos de origen animal sin eliminarlos completamente de la dieta, en línea con la dieta mediterránea que actualmente parece ser la mejor candidata a una dieta nutricional balanceada. Esta presenta aspectos positivos en la salud al reducir el índice de riesgo en factores como la obesidad, hipertensión, síndrome metabólico, dislipidemia y diabetes tipo 2, mientras

que también parece estar asociada con una menor disfunción cognitiva relacionada con la edad y una menor incidencia de trastornos neurodegenerativos, en particular la enfermedad de Alzheimer⁴⁷. La dieta mediterránea se caracteriza por un elevado consumo de verduras, frutas, frutos secos, cereales, granos integrales y aceite de oliva extra virgen, así como un consumo moderado de pescado y aves, y una ingesta limitada de dulces, carnes rojas y productos lácteos⁴⁸.

Si bien no se ha abordado mucho el factor nutricional en el presente trabajo, que ha sido enfocado principalmente en el ámbito de las proteínas, debe recordarse que estas son solo uno de los nutrientes esenciales, siendo el resto los carbohidratos, lípidos, fibras, vitaminas, minerales y demás compuestos bioactivos que generan un impacto en el organismo. En consecuencia, se debe consumir no solo la correcta cantidad de estos, sino también con la calidad y composición óptimas para el correcto funcionamiento del cuerpo. Esto es especialmente importante en la actualidad, pues en las últimas décadas se observa una tendencia al aumento de sobrepeso y obesidad debido, principalmente, a un desequilibrio entre la ingesta de energía (dieta) y el gasto de energía (actividad física). De acuerdo con la OMS⁴⁹, en el año 2022, 2500 millones de adultos de 18 años o más tenían

sobrepeso, incluidos más de 890 millones de adultos que vivían con obesidad. Esto corresponde al 43% de adultos, lo que representa un aumento con respecto a 1990, cuando el 25% de los adultos de 18 años o más tenían sobrepeso. En el caso de niños y adolescentes de entre 5 y 19 años, se reportaron más de 390 millones con sobrepeso en 2022. La prevalencia del sobrepeso (incluida la obesidad) en este grupo ha aumentado drásticamente, pasando de apenas el 8 % en 1990 al 20 % en 2022. El aumento se ha producido de forma similar, tanto entre los niños como entre las niñas: para 2022 el 19 % de las niñas y el 21 % de los niños tenían sobrepeso a nivel mundial. En algunos lugares como en Perú, las cifras son más preocupantes. El último reporte presentado por el Ministerio de Salud del Perú⁵⁰ estima que, en el año 2022, el 63,1% de las personas mayores de 15 años contaban con exceso de peso (una suma del 37,5% con sobrepeso y 25,6% con obesidad) como se puede observar en la **Figura 7**.

En base a toda la información mencionada parece recomendable que se considere una visión crítica de las conductas alimentarias actuales para poder construir un futuro sostenible que tenga un impacto positivo en el medio ambiente como también para la salud de cada persona.



Figura 7. Tendencia del sobrepeso y obesidad en el Perú 2013-2022 para las personas con 15 años o más. Reproducido de Ministerio de Salud. *Sobrepeso y Obesidad En La Población Peruana; 2023*

REFERENCIAS

1. Aebersold, R.; Agar, J. N.; Amster, I. J.; Baker, M. S.; Bertozzi, C. R.; Boja, E. S.; Costello, C. E.; Cravatt, B. F.; Fenselau, C.; Garcia, B. A.; Ge, Y.; Gunawardena, J.; Hendrickson, R. C.; Hergenrother, P. J.; Huber, C. G.; Ivanov, A. R.; Jensen, O. N.; Jewett, M. C.; Kelleher, N. L.; Kiessling, L. L.; Krogan, N. J.; Larsen, M. R.; Loo, J. A.; Ogorzalek Loo, R. R.; Lundberg, E.; Maccoss, M. J.; Mallick, P.; Mootha, V. K.; Mrksich, M.; Muir, T. W.; Patrie, S. M.; Pesavento, J. J.; Pitteri, S. J.; Rodriguez, H.; Saghatelian, A.; Sandoval, W.; Schlüter, H.; Sechi, S.; Slavoff, S. A.; Smith, L. M.; Snyder, M. P.; Thomas, P. M.; Uhlén, M.; Van Eyk, J. E.; Vidal, M.; Walt, D. R.; White, F. M.; Williams, E. R.; Wohlschlager, T.; Wysocki, V. H.; Yates, N. A.; Young, N. L.; Zhang, B. *How Many Human Proteoforms Are There?* *Nat Chem Biol* **2018**, *14* (3), 206.
2. Smith, L. M.; Agar, J. N.; Chamot-Rooke, J.; Danis, P. O.; Ge, Y.; Loo, J. A.; Paša-Toliæ, L.; Tsybin, Y. O.; Kelleher, N. L. *The Human Proteoform Project: Defining the Human Proteome.* *Sci Adv* **2021**, *7* (46), 734.
3. Calvez, J.; Azzout-Marniche, D.; Tomé, D. *Protein Quality, Nutrition and Health.* *Front Nutr* **2024**, *11*.
4. Morris, R.; Black, K. A.; Stollar, E. J. *Uncovering Protein Function: From Classification to Complexes.* *Essays Biochem* **2022**, *66* (3), 255.
5. Gutiérrez, L. Hierro: *Fundamental Para La Vida y Causante de Enfermedades.* *Revista de Química* **2015**, *29* (2), 17–22.
6. Berners-Lee, M.; Kennelly, C.; Watson, R.; Hewitt, C. N. *Current Global Food Production Is Sufficient to Meet Human Nutritional Needs in 2050 Provided There Is Radical Societal Adaptation.* *Elementa* **2018**, *6*.
7. Lumsden, C. L.; J, J.; Ziska, L.; Fanzo, J. *Critical Overview of the Implications of a Global Protein Transition in the Face of Climate Change: Key Unknowns and Research Imperatives.*
8. Popkin, B. M. *Will China's Nutrition Transition Overwhelm Its Health Care System And Slow Economic Growth?* **2017**, *27* (4), 1064–1076.
9. Yanni, A. E.; Iakovidi, S.; Vasilikopoulou, E.; Karathanos, V. T. *Legumes: A Vehicle for Transition to Sustainability.* *Nutrients*, **2023**, *16* (1), 98.
10. González-García, S.; Esteve-Llorens, X.; Moreira, M. T.; Feijoo, G. *Carbon Footprint and Nutritional Quality of Different Human Dietary Choices.* *Science of The Total Environment* **2018**, *644*, 77–94.
11. Gerber, P. J.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J.; Falcucci, A.; Tempio, G. *Tackling Climate Change through Livestock A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*; 2013.
12. Martin, M.; Brandão, M. *Evaluating the Environmental Consequences of Swedish Food Consumption and Dietary Choices.* *Sustainability*, **2017**, *9* (12), 2227.
13. Warner, R. D. *Review: Analysis of the Process and Drivers for Cellular Meat Production.* *Animal* **2019**, *13* (12), 3041–3058.
14. Lanzoni, D.; Bracco, F.; Cheli, F.; Colosimo, B. M.; Moscatelli, D.; Baldi, A.; Rebucci, R.; Giromini, C. *Biotechnological and Technical Challenges Related to Cultured Meat Production.* *Applied Sciences*, **2022**, *12* (13), 6771.
15. Guan, X.; Lei, Q.; Yan, Q.; Li, X.; Zhou, J.; Du, G.; Chen, J. *Trends and Ideas in Technology, Regulation and Public Acceptance of Cultured Meat.* *Future Foods* **2021**, *3*, 100032.
16. Rolland, N. C. M.; Markus, C. R.; Post, M. J. *The Effect of Information Content on Acceptance of Cultured Meat in a Tasting Context.* *PLoS One* **2020**, *15* (4).
17. Vauterin, A.; Steiner, B.; Sillman, J.; Kahiluoto, H. *The Potential of Insect Protein to Reduce Food-Based Carbon Footprints in Europe: The Case of Broiler Meat Production.* *J. Clean Prod.* **2021**, *320*, 128799.
18. Feng, Y.; Chen, X. M.; Zhao, M.; He, Z.; Sun, L.; Wang, C. Y.; Ding, W. F. *Edible Insects in China: Utilization and Prospects.* *Insect Sci.* **2018**, *25* (2), 184–198.
19. Rivera J. y Carbonell, F. *Los insectos comestibles del Perú: Biodiversidad y perspectivas de la entomofagia en el contexto peruano.* *Ciencia & Desarrollo*, **2020**, *27*, 3–36.
20. Skotnicka, M.; Karwowska, K.; Klobukowski, F.; Borkowska, A.; Pieszko, M. *Possibilities of the Development of Edible Insect-Based Foods in Europe.* *Foods* **2021**, *Vol. 10, Page 766 2021*, *10* (4), 766.
21. Niva, M.; Vainio, A. *Towards More Environmentally Sustainable Diets? Changes in the Consumption of Beef and Plant- and Insect-Based Protein Products in Consumer Groups in Finland.* *Meat Sci* **2021**, *182*, 108635.
22. Wolfson, J. A.; Musicus, A. A.; Leung, C. W.; Gearhardt, A. N.; Falbe, J. *Effect of Climate Change Impact Menu Labels on Fast Food Ordering Choices Among US Adults: A Randomized Clinical Trial.* *JAMA Netw Open* **2022**, *5* (12), e2248320–e2248320.
23. Historical Timeline - Milk - ProCon.org. (accessed 2024-05-05).
24. Medeiros, I.; Fernandez-Novoo, A.; Astiz, S.; Simões, J. *Historical Evolution of Cattle Management and Herd Health of Dairy Farms in OECD Countries.* *Vet Sci* **2022**, *9* (3).
25. Lin, T.; Meletharayil, G.; Kapoor, R.; Abbaspourrad, A. *Bioactives in Bovine Milk: Chemistry, Technology, and Applications.*
26. Haug, A.; Høstmark, A. T.; Harstad, O. M. *Bovine Milk in Human Nutrition – a Review.* *Lipids Health Dis* **2007**, *6*, 25.
27. Costard, S.; Espejo, L.; Groenendaal, H.; Zagmutt, F. J. *Outbreak-Related Disease Burden Associated with Consumption of Unpasteurized Cow's Milk and Cheese, United States, 2009–2014 - Volume 23, Number 6—June 2017 - Emerging Infectious Diseases Journal - CDC.* *Emerg Infect Dis* **2017**, *23* (6), 957–964.
28. Lund, B. M.; Uyttendaele, M.; Franz, E.; Schlüter, O. *Microbiological Food Safety for Vulnerable People.* *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2015**, *Vol. 12, Pages 10117-10132 2015*, *12* (8), 10117–10132.
29. Dash, K. K.; Fayaz, U.; Dar, A. H.; Shams, R.; Manzoor, S.; Sundarsingh, A.; Deka, P.; Khan, S. A. *A Comprehensive Review on Heat Treatments and Related Impact on the Quality and Microbial Safety of Milk and Milk-Based Products.* *Food Chem. Adv.* **2022**, *1*, 100041.
30. Sakkas, L.; Moutafi, A.; Moschopoulou, E.; Moatsou, G. *Assessment of Heat Treatment of Various Types of Milk.* *Food Chem.* **2014**, *159*, 293–301.
31. Nielsen, S. D.; Le, T. T.; Knudsen, L. J.; Rauh, V.; Poulsen, N. A.; Larsen, L. B. *Development and Application of a Multiple Reaction Monitoring Mass Spectrometry Method for Absolute Quantification of Lysinoalanine and Lanthionine in Dairy Products.* *Int. Dairy J.* **2020**, *105*, 104693.
32. Nielsen, S. D.; Knudsen, L. J.; Bækgaard, L. T.; Rauh, V.; Larsen, L. B. *Influence of Lactose on the Maillard Reaction and Dehydroalanine-Mediated Protein Cross-Linking in Casein and Whey.* *Foods*, **2022**, *11* (7), 897.
33. Sethi, S.; Tyagi, S. K.; Anurag, R. K. *Plant-Based Milk Alternatives an Emerging Segment of Functional Beverages: A Review.* *J. Food Sci. Technol.* **2016**, *53* (9), 3408.
34. Pointke, M.; Albrecht, E. H.; Geburt, K.; Gerken, M.; Traulsen, I.; Pawelzik, E. *A Comparative Analysis of Plant-Based Milk Alternatives Part 1: Composition, Sensory, and Nutritional Value.* *Sustainability*, **2022**, *14* (13), 7996.
35. Silva, A. R. A.; Silva, M. M. N.; Ribeiro, B. D. *Health Issues and Technological Aspects of Plant-Based Alternative Milk.* *Food Research International* **2020**, *131*, 108972.
36. Khanpit, V.; Viswanathan, S.; Hinrichsen, O. *Environmental Impact of Animal Milk vs Plant-Based Milk: Critical Review.* *J. Clean Prod.* **2024**, *449*, 141703.

37. Berardy, A. J.; Rubín-García, M.; Sabaté, J. [A Scoping Review of the Environmental Impacts and Nutrient Composition of Plant-Based Milks. *Adv. Nutrition* 2022, 13 \(6\), 2559–2572.](#)

38. Kovačević, J.; Bechtold, T.; Pham, T. [Plant-Based Proteins and Their Modification and Processing for Vegan Cheese Production. *Macromol.* 2024, 4 \(1\), 23–41.](#)

39. Chavarri-Uriarte, B. J.; Santisteban-Murga, L. N. R.; Tito-Tito, A. B.; Saintila, J.; Calizaya-Milla, Y. E. [Evaluation of Sensory Acceptability and Iron Content of Vegan Cheeses Produced with Protein Legume Isolates and Cushiyo Algae \(*Nostoc Sphaericum*\). *Food Chem. Adv.* 2025, 6, 100924.](#)

40. Short, E. C.; Kinchla, A. J.; Nolden, A. A. [Plant-Based Cheeses: A Systematic Review of Sensory Evaluation Studies and Strategies to Increase Consumer Acceptance. *Foods* 2021, 10 \(4\), 725.](#)

41. Mendly-Zambo, Z.; Powell, L. J.; Newman, L. L. [Dairy 3.0: Cellular Agriculture and the Future of Milk. *Food Cult Soc* 2021, 24 \(5\), 675–693.](#)

42. Kwon, H. C.; Jung, H. S.; Kothuri, V.; Han, S. G. [Current Status and Challenges for Cell-Cultured Milk Technology: A Systematic Review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2024, 15 \(1\), 1–15.](#)

43. Parlasca, M. C.; Qaim, M. [Meat Consumption and Sustainability. *Annu. Rev. Resour. Economics* 2022, 14, 17–41.](#)

44. Chai, B. C.; van der Voort, J. R.; Grofelnik, K.; Eliasdottir, H. G.; Klöss, I.; Perez-Cueto, F. J. A. [Which Diet Has the Least Environmental Impact on Our Planet? A Systematic Review of Vegan, Vegetarian and Omnivorous Diets. *Sustainability* 2019, 11 \(15\), 4110.](#)

45. Rabès, A.; Seconda, L.; Langevin, B.; Allès, B.; Touvier, M.; Hercberg, S.; Lairon, D.; Baudry, J.; Pointereau, P.; Kesse-Guyot, E. [Greenhouse Gas Emissions, Energy Demand and Land Use Associated with Omnivorous, Pesco-Vegetarian, Vegetarian, and Vegan Diets Accounting for Farming Practices. *Sustain. Prod. Consum.* 2020, 22, 138–146.](#)

46. Scarborough, P.; Appleby, P. N.; Mizdrak, A.; Briggs, A. D. M.; Travis, R. C.; Bradbury, K. E.; Key, T. J. [Dietary Greenhouse Gas Emissions of Meat-Eaters, Fish-Eaters, Vegetarians and Vegans in the UK. *Clim. Change* 2014, 125 \(2\), 179–192.](#)

47. Guasch-Ferré, M.; Willett, W. C. [The Mediterranean Diet and Health: A Comprehensive Overview. *J. Intern. Med.* 2021, 290\(3\), 549–566.](#)

48. Muscogiuri, G.; Verde, L.; Sulu, C.; Katsiki, N.; Hassapidou, M.; Frias-Toral, E.; Cucalón, G.; Pazderska, A.; Yumuk, V. D.; Colao, A.; Barrea, L. [Mediterranean Diet and Obesity-Related Disorders: What Is the Evidence? *Current Obesity Reports* 2022, 11 \(4\), 287–304.](#)

49. [Obesity and overweight \(accessed 2025-01-30\).](#)

50. Ministerio de Salud. [Sobrepeso y Obesidad En La Población Peruana, Lima, 2023.](#)

BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

Para entender el impacto medioambiental por el tipo de dietas: González-García S, Esteve-Llorens X, Moreira MT, Feijoo G. [Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. *Science of The Total Environment*. 2018; 644:77–94.](#)

Para entender la agricultura celular de la carne: Lanzoni D, Bracco F, Cheli F, et al. [Biotechnological and Technical Challenges Related to Cultured Meat Production. *Applied Sciences* 2022, Vol 12, Page 6771. 2022; 12\(13\):6771.](#)

Para entender la agricultura celular de la leche: Mendly-Zambo Z, Powell L, Newman LL. [Dairy 3.0: cellular agriculture and the future of milk. *Food Cult Soc.* 2021; 24\(5\): 675–693.](#)