



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

CARNE IN-VITRO: EL FUTURO DE LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE

Autor: Luis Rouco Blanco- Rajoy
Director: Estela María Díaz Carmona

MADRID | Mayo 2024

LA CARNE IN- VITRO: EL FUTURO DE LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE

RESUMEN

En este estudio, se examinará la viabilidad de la carne cultivada en laboratorio como una alternativa sostenible a los métodos ganaderos tradicionales. Se abordará inicialmente la evolución histórica de este innovador producto y se profundizará en los métodos de producción, así como en los desafíos técnicos asociados con su implementación a gran escala.

Además, se llevará a cabo un análisis multidisciplinario que explorará la carne cultivada desde diversas perspectivas, contrastándola con los métodos convencionales de producción de carne. Se prestará especial atención al impacto de su adopción en el medio ambiente y el bienestar animal, aunque también se considerarán sus implicaciones sociopolíticas, económicas y para la seguridad alimentaria.

El estudio también incluirá una revisión de los aspectos regulatorios relacionados con la carne cultivada, así como el proceso de aprobación para su comercialización en la Unión Europea. Finalmente, se evaluará su viabilidad en el mercado en términos de la percepción y ética del consumidor, se analizarán los diferentes perfiles de consumidores potenciales y se propondrán estrategias para mejorar su aceptación.

Palabras clave: Carne cultivada, carne in- vitro, impacto medioambiental, bienestar animal, alternativa sostenible, regulación, percepción del consumidor.

ABSTRACT

In this study, the feasibility of lab-grown meat as a sustainable alternative to traditional livestock methods will be examined. Initially, the historical evolution of this innovative product will be addressed, delving into production methods and the technical challenges associated with large-scale implementation.

Additionally, a multidisciplinary analysis will explore lab-grown meat from various

perspectives, contrasting it with conventional meat production methods. Special attention will be paid to its impact on the environment and animal welfare, although its socio-political, economic, and food security implications will also be considered.

The study will also include a review of regulatory aspects related to lab-grown meat, as well as the approval process for its commercialization in the European Union. Finally, its market viability in terms of consumer perception and ethics will be evaluated, different consumer profiles will be analysed, and strategies to enhance its acceptance will be proposed.

Palabras clave: Cultivated meat, in- vitro meat, clean meat, environmental impact, animal welfare, sustainable alternative, regulation, consumer perception.

Autor: Luis Rouco Blanco- Rajoy.

Directora: Estela María Díaz Carmona.

Universidad Pontificia de Comillas.

Madrid, mayo de 2024.

ÍNDICE

LISTADO DE ABREVIATURAS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVOS	7
III. METODOLOGÍA.....	7
IV. ALIMENTOS SINTÉTICOS: LA CARNE CULTIVADA	9
4.1. Concepto	9
4.2. Evolución histórica	10
4.3. Proceso de Producción.....	14
V. DESAFIOS TÉCNICOS DE LA CARNE CULTIVADA Y PROYECCIONES FUTURAS	17
5.1. Características organolépticas.....	17
5.2. Costes y técnicas de producción	19
VI. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CARNE CONVENCIONAL FRENTE A LA CARNE CULTIVADA	22
6.1. Sostenibilidad y medio ambiente	22
6.2. Bienestar animal	24
6.3. Seguridad alimentaria	27
6.4. Valor nutricional.....	29
6.5. Impacto político, social y económico	30
VII. ASPECTOS LEGALES: MARCO REGULATORIO.....	34
7.1. Contexto legislativo internacional	34
7.2. Marco regulatorio Unión Europea	35
VIII. PERCEPCIÓN DEL CONSUMIDOR.....	38
8.1. Aceptación general del consumidor	38
8.2. Factores sociodemográficos	39
8.3. Motivaciones percibidas a la aceptación.....	41

8.4. Barreras percibidas a la aceptación	42
IX. CONCLUSIÓN.....	44
DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA	
ARTIFICIAL GENERATIVA EN TRABAJOS DE FIN DE GRADO	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
REFERENCIAS LEGISLATIVAS	53

LISTADO DE ABREVIATURAS

- **MSC:** células madre mesenquimales.
- **UE:** Unión Europea.
- **GEI:** gases efecto invernadero.
- **FAO:** Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- **MT:** tonelada métrica.
- **OGM:** organismos genéticamente modificados.
- **ONU:** Organización de Naciones Unidas.
- **DOUE:** Diario Oficial de la Unión Europea.
- **BOE:** Boletín Oficial Estado.
- **pH:** potencial de hidrógeno.
- **SFB:** suero fetal bovino.
- **SFA:** Singapur Food Agency.
- **FDA:** Food and Drugs Agency.
- **USDA-FSIS:** United States Department of Agriculture- Food Safety and Inspection Service.
- **EFSA:** European Food Safety Authority.
- **ETA:** enfermedades de transmisión alimentaria.
- **ONG:** Organización no gubernamental.
- **CO2:** dióxido de carbono.

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Tabla 1. Estudios incluidos en la revisión de la literatura sobre la percepción del consumidor	9
Figura 1. Línea temporal de la evolución histórica de la carne cultivada	12
Figura 2. Distribución geográfica de las empresas de carnes cultivada	13
Figura 3. Proceso de producción de la carne cultivada	16
Figura 4. Mapa conceptual de la industria de la carne cultivada	22
Tabla 2. Tasa de aceptación de la carne cultivada en función del país	38
Figura 5. Percepción del consumidor	44

I. INTRODUCCIÓN

La industria cárnica se constituye en la actualidad como uno de los sectores más perjudiciales para el medio ambiente. Según datos de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2013), las actividades relacionadas con la explotación, conservación y suministro de carne representan alrededor de un 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), datos significativamente superiores a los relativos a la producción del resto de fuentes de alimentos. Esta situación tiene repercusiones a todos los niveles, desde el ámbito local hasta el mundial, provocando problemas relacionados con la degradación de las tierras, el cambio climático, la escasez y contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad (Steinfeld, 2009).

Además de la huella ecológica, la creciente conciencia social sobre la calidad, la seguridad alimentaria (Ben-Arye & Levenberg, 2019) y el bienestar animal (Chriki & Hocquette, 2020), ha generado un nuevo debate sobre los medios de producción ganadera y la necesidad de explorar alternativas a la carne sin animales. La industrialización de la ganadería ha llevado a la intensificación de la producción en búsqueda de la eficiencia y en detrimento de los animales. En España, el consumo de productos provenientes de macro explotaciones ganaderas es de un 95%, impulsado por sus bajos precios, que hacen que resulte imposible competir con otros medios de producción más ecológicos (WWF, 2022). Los animales son producidos en masa y su conformación corporal se adapta a las necesidades industriales, donde la duración y calidad de su vida estarán subordinadas a los beneficios y pérdidas de la empresa, sin tener en cuenta las necesidades sociales y psicológicas de los animales, quienes a menudo se encuentran hacinados en jaulas minúsculas o en criaderos sobrepoblados (Harari, 2018).

El sector ganadero, fundamental en el sistema alimentario actual, se enfrenta al desafío de reemplazar prácticas ambientalmente perjudiciales por alternativas más sostenibles. Esto cobra aún más importancia al considerar las expectativas de crecimiento de la población mundial. Se prevé un aumento en la población a nivel global de 2.000 millones de personas en los próximos 30 años, lo que llevaría la cifra a aproximadamente 9.700 millones de personas para el año 2050 (ONU, 2022). La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO & WHO, 2023) ha estimado que la demanda de alimentos ascenderá un 70% para satisfacer el crecimiento de la población. En particular, el consumo global de productos cárnicos está aumentando debido al cambio de la

tendencia en los hábitos de consumo hacia dietas más proteicas (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018), así como el incremento en los países en desarrollo como China, India y Rusia (Chriki & Hocquette, 2020), suponiendo un verdadero desafío debido a las deficiencias en términos de recursos y tierras cultivables.

Los problemas vinculados a la producción de productos proteicos, combinados con las previsiones de un aumento en su demanda, subrayan la imperativa necesidad de transformar la estructura productiva hacia proteínas más sostenibles, nutritivas y conscientes del bienestar animal (Stephens et al., 2018). Sin embargo, la conducta alimentaria es compleja de modificar, más del 90% de la población mundial consume regularmente productos cárnicos lo que subraya la dificultad de lograr una transición global hacia una dieta vegetariana (Tomiyama et al., 2020). Los análogos de proteínas ya contribuyen en cierta medida a este propósito, con las proteínas vegetales ocupando una cuota de mercado cada vez más significativa situándose como el principal sustitutivo de la carne. Además, se observa un creciente interés en las proteínas basadas en insectos, las cuales destacan por su elevado contenido proteico (Gómez-Luciano et al., 2019). No obstante, estos productos no satisfacen al consumidor tradicional, quien no está dispuesto a prescindir de la carne, ya sea por gusto, por razones culturales o porque la considera un producto gastronómico de buena calidad (Gisie, 2022).

En este escenario, emerge la agricultura celular, una práctica que persigue la producción de proteínas animales utilizando menos animales que la industria ganadera, mediante la utilización de técnicas de cultivo en laboratorio (Stephens et al., 2018). Los avances significativos logrados en las últimas décadas en disciplinas como la ingeniería de tejidos, la biotecnología y las células madre, permiten recrear condiciones naturales para desarrollar, a través de la multiplicación celular, tejidos maduros que replican las características físicas y bioquímicas de la carne animal (Ben-Arye & Levenberg, 2019). Este innovador producto, conocido como carne cultivada¹, tiene como objetivo conciliar el deseo de los consumidores de comer carne con el impulso de garantizar la seguridad alimentaria a nivel global, promoviendo una dieta ética, nutritiva y disminuyendo el impacto ambiental de la producción de alimentos (Stephens et al., 2018). Por lo tanto, la carne in vitro se presenta como la principal alternativa ante la creciente demanda de

¹ También le atribuyen términos como carne in vitro, carne artificial, carne sintética o “clean meat”.

alimentos, enfocada principalmente en los consumidores que concienciados con el medioambiente rechazan cambiar la composición de su dieta (Chriki & Hocquette, 2020).

La carne cultivada posee múltiples ventajas en relación con los sistemas tradicionales de producción de proteína animal. Se estima que la producción industrial de tejido cárnico cultivado artificialmente podría reducir el uso de terreno en un 99%, el consumo de agua en un 95%, las emisiones de GEI en un 96% y el consumo total de energía en un 45% en comparación con la ganadería convencional actual (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018). La producción se podría centrar en el cultivo de las zonas más cotizadas del animal, evitando de este modo los deshechos de las partes sobrantes, se estima que únicamente entre el 5% y el 25% del animal se procesa como carne comestible (Zhang et al., 2020). Una sola biopsia muscular tomada de una vaca viva podría potencialmente generar mil millones de hamburguesas de carne de vacuno en solo 1,5 meses. En contraste, para producir el mismo número de hamburguesas utilizando métodos convencionales, se necesitarían alrededor de 0,5 millones de vacas durante un período de 18 meses (Tomiyama et al., 2020).

La inclusión de este nuevo producto en la dieta de la población conllevaría una transformación sin precedentes en la alimentación humana, equiparable en magnitud al histórico descubrimiento de la agricultura (Harari, 2018). No obstante, a pesar del potencial prometedor de esta nueva tecnología, aún se encuentra en una fase inicial con numerosos desafíos por superar. Entre estos desafíos se incluyen la necesidad de reducir costos para su viabilidad comercial, la obtención de la fuente celular y la mejora de las características organolépticas, entre otros aspectos críticos (Treich, 2021) Además, es crucial abordar aspectos sociales, políticos y económicos frecuentemente ignorados, como las consideraciones éticas, la aceptación del consumidor, la cobertura mediática, el marco regulatorio emergente y los posibles impactos económicos.

Dada la falta de estudios académicos que traten el fenómeno de la carne cultivada de forma integral, especialmente en español, este trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis multidisciplinar, que permita realizar una evaluación holística de la carne cultivada como alternativa viable a la carne convencional. Para lograr este objetivo, emplearemos principalmente métodos cualitativos, basándonos en una minuciosa revisión bibliográfica

La estructura del trabajo es la siguiente: en primer lugar, comenzaremos situando el contexto actual de la carne cultivada, abordando sus métodos de producción y los desafíos

que enfrenta el sector. A continuación, exploraremos las diversas ventajas y desventajas que presenta este nuevo producto en contraste con la producción convencional. Posteriormente, examinaremos la legislación vigente en materia de alimentos sintéticos, centrándonos en la carne cultivada. Continuaremos relacionando estudios previos en materia de percepción del consumidor, para estudiar la aceptación del consumidor hacia este nuevo producto, así como las motivaciones y las barreras para su compra. Finalmente, concluiremos con una evaluación integral sobre el potencial de la carne cultivada como una alternativa sostenible a la carne convencional.

II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis multidisciplinar, que permita evaluar de forma integral la carne cultivada como alternativa sostenible a la carne convencional.

Los objetivos específicos de este trabajo se centrarán en lo siguiente:

1. Estudiar los desafíos técnicos en el sector de la carne cultivada para la creación de un producto atractivo y escalable.
2. Evaluar las implicaciones medioambientales y para el bienestar animal asociadas a la implementación de la tecnología de la carne cultivada.
3. Examinar la legislación vigente sobre nuevos alimentos y analizar los requisitos actuales para la introducción de la carne cultivada en el mercado.
4. Analizar la percepción del consumidor respecto a la aceptación de la carne cultivada, así como identificar las motivaciones y barreras que influyen en su decisión de compra.

III. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este trabajo, se realizó un análisis cualitativo que consistió en una revisión multidisciplinar de la literatura abarcando documentos de carácter científico, socioeconómico, ético y jurídico.

La información científica fue recopilada de diversas fuentes, incluyendo libros, estudios, informes y artículos académicos obtenidos de bases de datos en línea especializadas en contenido empírico, como ScienceDirect, Elsevier o Dialnet. Asimismo, se recurrió a informes de organismos internacionales de renombre, como la Organización de Naciones Unidas (ONU), especialmente para obtener datos numéricos sobre el impacto en el medioambiente y las tendencias de consumo, dada su credibilidad.

En cuanto a la revisión legislativa se examinaron documentos oficiales publicados en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE), así como el Boletín Oficial del Estado (BOE). Además, se emplearon bases de datos jurídicas como Aranzadi y EUR-Lex, para estudiar las distintas opiniones doctrinales al respecto. Este proceso incluyó un análisis exhaustivo de las normativas vigentes tanto a nivel nacional en España como a nivel de

la Unión Europea (UE). El objetivo principal fue identificar con precisión los requisitos y autorizaciones necesarios para la entrada de la carne cultivada en el mercado. Además, se evaluaron detenidamente las implicaciones de la legislación actual en la viabilidad y regulación de este innovador producto.

Los aspectos relativos a la percepción del consumidor se han obtenido de la revisión de diversos estudios previos utilizando la herramienta “*Google Scholar*”. Estos estudios abordan la percepción de los consumidores hacia la carne cultivada mediante encuestas, “*focus groups*” o investigación experimental. Los criterios de inclusión para la selección de estos trabajos fueron los siguientes:

- Artículos o estudios que aborden de forma directa la percepción del consumidor hacia la carne cultivada.
- Estudios recientes, elaborados a partir de 2018.
- Datos empíricos originales.
- Estudios cuantitativos y cualitativos en adultos.
- Muestras representativas y de tamaño considerable.

Además, buscamos analizar diferentes contextos demográficos y socioeconómicos, por lo que incluimos al menos un estudio de cada continente para comparar las diferencias culturales y económicas. Asimismo, algunos de los estudios seleccionados también exploran otras alternativas a la carne, lo que nos permite contrastar la carne cultivada con sus competidores. El objetivo de este análisis es examinar la aceptación general de la carne cultivada, las ventajas percibidas, las preocupaciones y dudas comunes, así como proponer estrategias para mejorar su viabilidad comercial en el mercado.

Las metodologías, los objetivos, los parámetros de medición, la terminología y la información proporcionada varían entre los estudios seleccionados. Esta diversidad representa una limitación y dificulta una comparación fiable entre países. A pesar de ello, fue posible identificar tendencias y patrones de comportamiento entre los consumidores. Las discrepancias en los enfoques de investigación han podido influir en los resultados obtenidos, por lo que es crucial interpretarlos con precaución. A continuación, se presenta una tabla que resume de forma concisa los trabajos académicos seleccionados.

ESTUDIOS SELECCIONADOS

Estudio	Autor/es	Método	Muestra	Resumen
<i>"South African Consumer Adoption of Plant-Based and Cultivated Meat: A Segmentation Study"</i>	Szejda et al., 2021	Encuesta	1.087 adultos de entre 18 y 61 años	Evaluación de la probabilidad de que los consumidores adopten carne cultivada y de origen vegetal en Sudáfrica.
<i>"Using environmental imperatives to reduce meat consumption: perspectives from New Zealand, Kōtuitui"</i>	Tucker, 2018	Focus groups	19 focus groups con un total de 69 participantes	Análisis de la percepción de los neozelandeses hacia las prácticas de producción de carne y sus alternativas.
<i>"Consumer acceptance of cultured meat in urban areas of three cities in China"</i>	Zhang et al., 2020	Encuesta	1.104 adultos	Investigación sobre la aceptación y disposición de compra de carne cultivada en tres ciudades de China.
<i>"Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic"</i>	Gómez-Luciano et al., 2019	Encuesta	729 adultos	Estudio sobre las preferencias de los consumidores en cuanto a la compra de carne cultivada, proteína vegetal o insectos en Reino Unido, Brasil, República Dominicana y España
<i>"Strategies for overcoming aversion to unnaturalness: The case of clean meat"</i>	Bryant et al., 2019	Experimental	1.185 adultos	Investigación sobre la eficacia de distintos mensajes promocionales para la carne cultivada en EE.UU.
<i>"Older Consumers' Readiness to Accept Alternative, More Sustainable Protein Sources in the European Union"</i>	Grasso et al., 2019	Encuesta	1.825 adultos mayores de 65 años	Estudio sobre la disposición de los adultos mayores a aceptar el consumo de fuentes proteicas alternativas en cinco países de Europa.
<i>"A Survey of Consumer Perceptions of Plant-Based and Clean Meat in the USA, India, and China"</i>	Bryant et al., 2019	Encuesta	3030 adultos	Estudio para identificar patrones de comportamiento hacia la carne cultivada en Asia, EE.UU. e India.

Tabla 1. Estudios incluidos en la revisión de la literatura sobre la percepción del consumidor. Elaboración propia.

IV. ALIMENTOS SINTÉTICOS: LA CARNE CULTIVADA

4.1. Concepto

El término “carne cultivada” hace referencia a la proteína animal que se produce mediante la multiplicación celular ex -vivo, empleando técnicas de cultivo que reproducen las condiciones internas de un organismo animal (Treich, 2021). A lo largo de la literatura se utilizan distintos términos, para describir este producto, como “carne a base de células”, “carne de laboratorio”, “carne in vitro”, “carne sintética”, “carne artificial” o “carne limpia” (Tomiyama et al., 2020). Dada su naturaleza innovadora y a su marcada diferencia con respecto a otros métodos de producción de carne, resulta complejo brindar una designación ampliamente aceptada, que no genere controversia.

Inicialmente, las primeras investigaciones utilizaron el término “in- vitro”, sin embargo, con el avance de los años, se popularizó el concepto “carne cultivada”. La palabra “cultivada” enfatizaba las técnicas de cultivo celular, además de resultar familiar y

atractivo para el consumidor debido a sus similitudes con procesos de fermentación como la elaboración de queso o cerveza (Stephens et al., 2018). En la actualidad, el término preferido por los promotores de esta tecnología es el de “carne limpia”, una estrategia destinada a acercarse al consumidor argumentando que se trata de una carne más higiénica y ambientalmente sostenible que la convencional (Cassiday, 2018).

Una definición alternativa proporcionada por Francis Hocquettes en 2016 sugiere que el término más preciso sería “proteínas musculares artificiales”, ya que, según su criterio, la palabra “carne” implica un proceso de maduración dentro de un animal y su posterior “sacrificio” (Stephens et al., 2018). Otros términos, como “carne sintética”, “carne laboratorio”, “carne artificial” o incluso “carne Frankenstein”, se utilizan con frecuencia en el debate público, a menudo con connotaciones peyorativas (Stephens et al., 2018).

La elección de palabras es crucial para definir cómo se perciben las cosas, y el debate sobre la terminología refleja las posturas divergentes de los diversos grupos, tanto a favor como en contra de este tipo de carne. En esta revisión, utilizaremos indistintamente los términos “carne cultivada” y “carne in vitro” para referirnos a este producto, ya que son los más rigurosos y ampliamente aceptados en el ámbito científico y académico, evitando así los juicios de valor asociados a otras denominaciones.

Asimismo, emplearemos el término “carne convencional” o “carne tradicional” para hacer referencia al producto obtenido mediante los diversos métodos de ganadería, bien sea intensiva o extensiva, que proviene de la cría y sacrificio de animales destinados al consumo humano. Por otro lado, nos referiremos a las alternativas producidas a partir de vegetales, legumbres y cereales que buscan imitar el sabor, la forma y la textura de la carne como "carne vegetal".

4.2. Evolución histórica

La visión de un futuro en el que la carne se produjera en laboratorios sin necesidad de sacrificar animales ya se contemplaba antes de que la tecnología materializara esta idea. A principios del siglo XX, Winston Churchill predijo en su ensayo “Cincuenta años después”² que “algún día evitaríamos el absurdo de criar un pollo entero para comernos la pechuga o el ala, cultivando estas por separado en un medio adecuado”³ (Van der

² Publicado años más tarde en el libro “Pensamientos y aventuras” en 1932.

³ Traducción del inglés: “We shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the

Weele & Driessen, 2013). Otro ejemplo es el escritor René Barjavel quien incluyó este concepto en su novela de ciencia ficción “Ravage” en 1943 (Arshad et al., 2017).

En el año 2002 esta idea dejó de formar parte del imaginario colectivo para convertirse en una realidad. Un equipo de la NASA logró producir tejido muscular del pez dorado común (*Carassius auratus*) con longitudes entre 3 a 10 cm. El objetivo era implantar esta tecnología en vuelos y estaciones espaciales habitadas (Arshad et al., 2017). Este avance provocó la aparición de un gran número de proyectos durante los años siguientes. En 2004, Jason Matheney, asombrado por lo aprendido sobre la producción de carne in vitro, fundó la primera organización para promover la investigación de carne cultivada, bajo el nombre “*New Harvest*” (Van der Weele & Driessen, 2013).

Lo que podemos considerar el primer proyecto de investigación serio tuvo lugar en 2005, cuando el gobierno holandés financió un proyecto de tres años que, entre otras cosas, buscaba cultivar células madre porcinas, desarrollar un medio de cultivo a base de algas y emplear estímulos electrónicos para hacer crecer las células musculares de un ratón (Stephens et al., 2018). A pesar de los importantes descubrimientos de esta investigación, también se puso de manifiesto el largo camino por recorrer para la obtención de un producto viable.

No fue sino hasta años más tarde, en el 2013, cuando el profesor Mark Post de la Universidad de Maastricht logró producir la primera hamburguesa de carne cultivada del mundo (Stephens et al., 2018). La inversión monetaria para esta hamburguesa ascendió a 330.000 dólares y el proceso de cultivo tomó alrededor de 3 meses. La cantidad de carne resultante fue de 5 onzas, aproximadamente 140 gramos. Durante una cata realizada posteriormente, un grupo de jueces concluyó que el sabor era similar al de una hamburguesa convencional (Arshad et al., 2017).

Este evento marcó un hito importante en la historia de la carne cultivada y motivó considerablemente el interés por esta tecnología tanto entre científicos, como en empresarios e inversores. Se observó un aumento significativo en el número de publicaciones relacionadas con la carne cultivada (Chriki & Hocquette, 2020). Además, este acontecimiento impulsó la iniciativa privada, dando lugar a la creación de numerosas empresas. A finales de 2019, había 32 proyectos en todo el mundo con un valor de 166

breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium”.

millones de euros dedicados a la carne sintética (Gisie, 2022); al año siguiente, este número se había duplicado (Guan et al., 2021). La empresa estadounidense *Memphis Meats*, líder del sector, ha producido cultivos de demostración en forma de albóndigas, fajitas de ternera, pollo y pato (Stephens et al., 2018), consiguiendo una financiación récord en 2020 de aproximadamente 200 millones de dólares, para establecer un centro de producción piloto (Gisie, 2022). No obstante, la investigación no se limita a la producción de cerdo, pollo y vacuno; también existen empresas que centran la producción en productos del mar, como *Finless Foods* (Stephens et al., 2018). Incluso, se están explorando opciones como el foie gras, y en Australia, la carne de canguro cultivada, lo que muestra cómo las elecciones de productos se ven influenciados por los hábitos y costumbres dietéticos locales (Guan et al., 2021).

Hacia finales de 2020, las autoridades alimentarias de Singapur concedieron a la empresa estadounidense *Just*, la autorización para comercializar su producto. Consideraron que su consumo era seguro para los seres humanos, consistía en una pasta de células de pollo que busca imitar a los tradicionales *Nuggets*. Este se vende en un único restaurante, marcando así la primera vez que se permite la venta de carne cultivada con fines comerciales, estableciendo precedente en la introducción de este nuevo producto en el mercado (Listek, 2020).

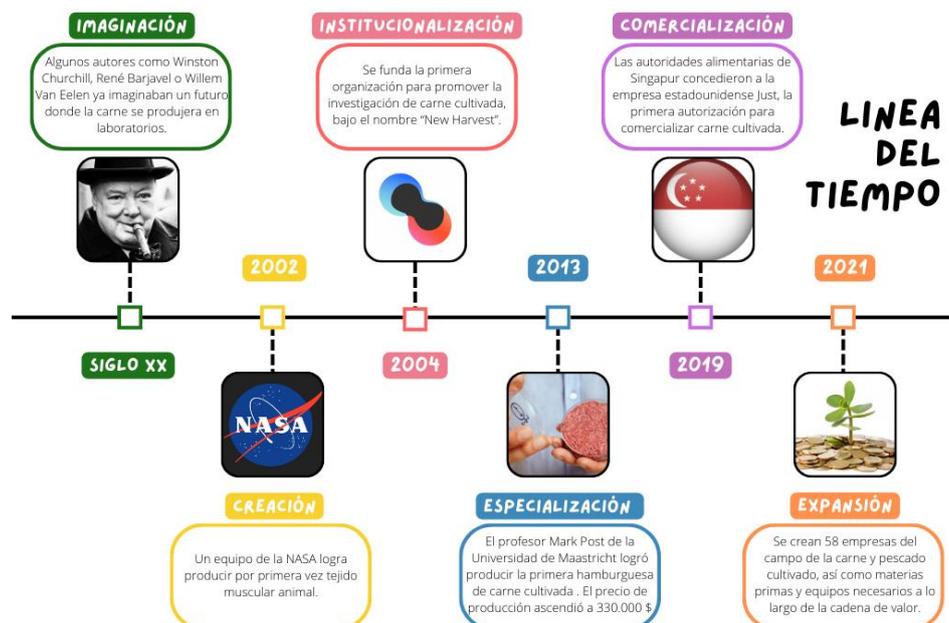


Figura 1. Línea temporal de la evolución histórica de la carne cultivada. Elaboración Propia.

El potencial del mercado de la carne cultivada es inmenso y se observa un aumento en la competitividad y oportunidades de inversión (Lanzoni, 2024). A largo plazo, el objetivo es producir piezas completas más complejas, que incluyan músculo, grasa, tejido conectivo, entre otros. El desafío actual radica en lograr que la carne cultivada tenga una apariencia y textura similares a las que tiene la carne convencional, así como reducir su coste de producción (Guan et al., 2021). Los avances en este campo comienzan a ser notables; en febrero de 2021, *Aleph Farms* anunció con éxito la reproducción de un solomillo mediante un proceso de impresión celular en 3D (Gisie, 2022).

La Figura 2 (Guan et al., 2021, p. 3) muestra una representación visual de la distribución geográfica de las empresas involucradas en la producción de carne cultivada, en el año 2021. Se incluyen 58 empresas del campo de la carne y pescado cultivado, así como materias primas y equipos necesarios a lo largo de la cadena de valor. Estas empresas están en 18 países distribuidos por los cinco continentes. Se observa que el 37% de estas empresas se encuentran en América del Norte, el 25% en Asia, el 21% en Europa y el 27% restante está distribuido en otras regiones del mundo.



Figura 2. Distribución geográfica de las empresas de carnes cultivadas. Nota. De “*Trends and ideas in technology, regulation and public acceptance of cultured meat*”, por Guan et al., 2021, *Future Foods*, 3.

Este es solo un ejemplo de cómo cada vez más empresas se suman a la producción carne in vitro y existe una gran probabilidad de que el mercado se expanda en los próximos años. En el mercado español, el mayor consumidor de carne per cápita de Europa (FAO; WHO, 2023), destaca la empresa *BioTech Foods*, cuyo proyecto se centra en la construcción de una planta operativa para mediados de 2024 que les permita producir 1000 toneladas de carne cultivada anuales, con la posibilidad de aumentar esta cantidad a 4000 en el medio plazo. Según su CEO, Iñigo Charola, este proyecto creará 150 empleos y requerirá una inversión total de 41 millones de dólares (Columba, 2023).

4.3. Proceso de Producción

La producción de carne cultivada implica una serie de procesos que combinan la ingeniería de tejidos y la agricultura celular (Guan et al., 2021). El objetivo fundamental es generar productos que sean “biológicamente equivalentes” a las versiones de carne convencional. Para lograrlo, se utiliza material molecular y genético idéntico al de la proteína animal, lo que permite ofrecer una experiencia sensorial similar. Esta equivalencia biológica distingue a la carne cultivada de otros productos, como los análogos de proteínas de origen vegetal (Stephens et al., 2018).

El proceso de producción se puede dividir en cuatro etapas clave: obtención de las células, expansión celular, diferenciación inducida de las células y ensamblaje y procesamiento de las células cultivadas en productos cárnicos (Guan et al., 2021). De este modo, la producción de carne comienza por la extracción de células madre musculares adultas de un animal vivo o células madre pluripotentes⁴ de un embrión (Tuomisto, 2019). La obtención de estas células se lleva a cabo mediante una biopsia con una aguja, un procedimiento inofensivo para el animal (Cassiday, 2018).

Una vez obtenidas las células madre, estas se cultivan en un biorreactor (Tuomisto, 2019), donde se controlan rigurosamente los factores ambientales como la temperatura, el pH y el nivel de oxígeno (Arshad et al., 2017). Este entorno controlado proporciona las condiciones óptimas para el crecimiento y división celular. Además, para su proliferación, las células necesitan nutrientes, hormonas, antibióticos y factores de crecimiento, que se

⁴ Las células pluripotentes, también conocidas como células madre embrionarias, reciben este nombre debido a su capacidad de poder desarrollarse en cualquier tipo de célula adulta (Guadix, Zugaza, & Gálvez-Martín, 2017).

suministran a través del medio de cultivo (Chriki & Hocquette, 2020).

El medio de cultivo más empleado es el suero fetal de ternera o caballo (Stephens et al., 2018), obtenido a partir de fetos sacrificados, un proceso que plantea cuestiones éticas y no es aceptado por veganos y vegetarianos, quienes buscan alternativas que resuelvan los problemas de explotación animal (Chriki & Hocquette, 2020). Sin embargo, se están comenzando a realizar investigaciones para probar medios de crecimiento sintéticos o de origen vegetal, con resultados prometedores (Cassiday, 2018). Por el momento los medios sin suero pueden retrasar el desarrollo del cultivo y en la actualidad el suero fetal sigue siendo un elemento esencial para obtener resultados óptimos en la producción de carne cultivada (Arshad et al., 2017).

Una vez se alcanza la cantidad deseada de células, se induce su diferenciación en miotubos⁵, adipocitos⁶ u otros tipos de células maduras en los tejidos musculares (Guan et al., 2021). Para ello, se emplean técnicas de estimulación mecánica o eléctrica que promueven la producción de proteínas, mejoran la estructura y producen músculo esquelético, el principal componente de la carne (Tuomisto, 2019).

Finalmente, las células maduras obtenidas se recolectan y procesan. Durante este proceso, se moldean, se les añaden condimentos y se les otorga color, dando como resultado el producto final de la carne cultivada (Guan et al., 2021). No obstante, los productos estructurados, como un filete o una pechuga, presentan un desafío técnico mucho mayor (Cassiday, 2018).

Para replicar la estructura tridimensional, se requiere un entramado conocido como “andamio”, donde las células puedan adherirse y proliferar (Stephens et al., 2018). Este andamio debe ser comestible o biodegradable, con una estructura porosa que permita la difusión del medio de cultivo (Cassiday, 2018). Los avances recientes en bioimpresión 3D son prometedores, ya que permiten la creación de tejido muscular con construcciones complejas y de un tamaño considerable, utilizando hidrogeles cargados con células (Guan et al., 2021). El tiempo medio de obtención del producto acabado es de aproximadamente

⁵ Los miotubos son las células precursoras de la fibra muscular, están compuestos por la unión de mioblastos y se transforman en células maduras a través de un proceso conocido como diferenciación, donde los distintos miotubos se agrupan entre sí (Federación Española de Enfermedades Neuromusculares ASEM., 2003).

⁶ Los adipocitos, también conocidos como células adiposas, lipocitos o células grasas, son las células que forman el tejido adiposo el cual supone alrededor de un 90% de la masa celular (Marcela, 2012).

cinco a siete semanas. El tiempo exacto variará según la especie, el tipo de células, las condiciones de cultivo, la escala y el producto deseado (Gisie, 2022).

La producción de carne cultivada aún se encuentra en una fase temprana de desarrollo y aunque se han logrado avances significativos en los últimos años, aún se requiere mucha investigación para llevar este producto a una escala comercial viable. A medida que la tecnología avanza, surgen nuevos desafíos que deben abordarse antes de que la carne cultivada pueda convertirse en una alternativa generalizada a la carne convencional. Los principales desafíos del sector se tratarán más adelante, incluyendo la reducción de costos de producción, la creación de estructuras complejas, seguridad alimentaria y calidad sensorial, entre otros.

A continuación, se presenta de manera resumida una imagen que ilustra de forma esquemática el proceso de producción de carne cultivada.

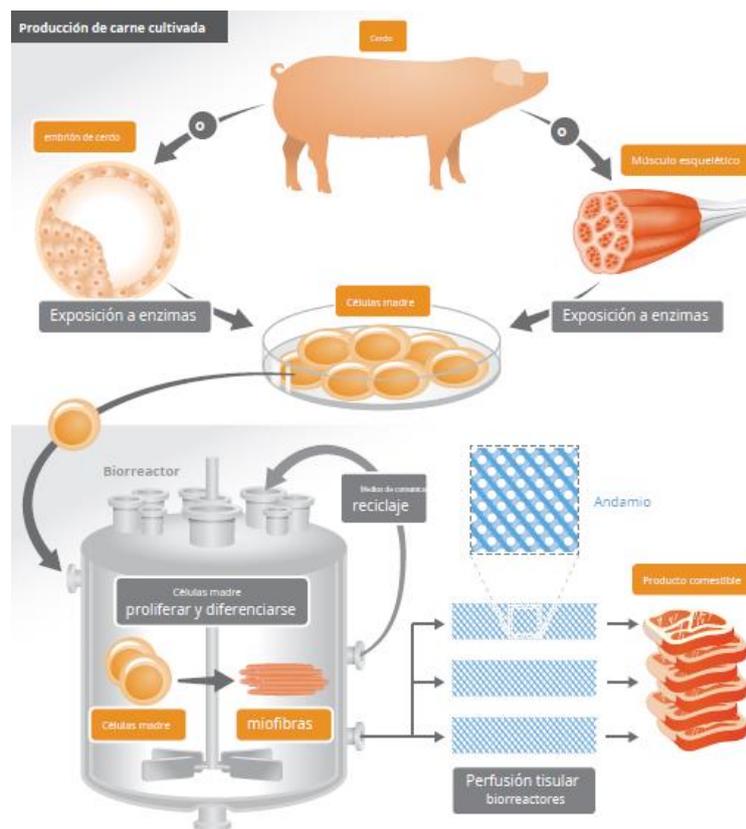


Figura 3. Proceso de producción de la carne cultivada. Nota. De “*The eco-friendly burger: could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?*”, por Tuomisto, H. L., 2019, *Embo Reports*, 20 (1), 3.

V. DESAFIOS TÉCNICOS DE LA CARNE CULTIVADA Y PROYECCIONES FUTURAS

5.1. Características organolépticas

Las propiedades organolépticas hacen referencia a una serie de cualidades que describen las características físicas de un alimento y que son perceptibles a través de los sentidos, como el color, la textura, aspecto y el sabor, entre otros. El éxito de la carne cultivada dependerá de su capacidad para replicar de manera precisa estas características sensoriales presentes en la carne convencional (Bhat et al., 2019). Muchos de los compuestos responsables de estas cualidades no se producen directamente en el tejido muscular, sino que provienen de la alimentación del animal. A menos que sean agregados durante el proceso de cultivo y absorbidos por las células, estos compuestos podrían estar ausentes en la carne cultivada, lo que afectaría a su sabor, textura, color y aspectos nutricionales (Fraeye et al., 2020).

En cuanto a la textura de la carne cultivada, depende en gran medida del producto cárnico que se pretenda conseguir. Los productos molidos o picados requieren menos esfuerzo que el desafío que presenta la creación de un producto que imite la carne fresca, como un filete o una pechuga (Fraeye et al., 2020). Es por esto que los expertos sugieren que la carne cultivada podría llegar al mercado en diferentes fases de desarrollo. En primer lugar, podrían aparecer híbridos de carne cultivada y carne animal; en segundo lugar, podrían presentarse productos cárnicos molidos como hamburguesas y salchichas; y finalmente, se podrían producir carnes estructuradas como filetes y pechugas de pollo (Cassiday, 2018).

La ausencia de un sistema circulatorio que distribuya nutrientes y oxígeno, junto con las limitaciones de difusión del medio de cultivo, provocan que únicamente sea posible producir unas pocas capas de célula. Para producir trozos de carne gruesos, sería necesario un sistema de perfusión que facilite la distribución uniforme de nutrientes y oxígeno por todo el tejido (Fraeye et al., 2020). En este sentido, los avances en tecnología señalan que esto se podría lograr mediante la producción de fibras musculares en andamios comestibles utilizando técnicas de ingeniería de tejidos y medicina regenerativa. Además, la bioimpresión 3D podría permitir la recreación de estructuras complejas, como la vasculatura y la grasa intramuscular (Tomiya et al., 2020).

Junto con la textura, el sabor es otro de los factores críticos que influyen en la elección de los alimentos por parte del consumidor (Tomiyama et al., 2020). El aroma y sabor característicos de la carne tradicional se genera en gran parte durante su proceso de cocción, donde se producen una serie de reacciones químicas, como aquellas que involucran la degradación de los aminoácidos, azúcares y lípidos presentes en las células (Fraeye et al., 2020).

Históricamente, la carne cultivada ha carecido de contenido graso lo que resulta en deficiencias en cuanto a sabor y jugosidad (Cassiday, 2018). Para abordar este problema, se están considerando diversas estrategias. Una de ellas es la posibilidad de realizar cocultivos de células combinando células musculares y tejido adiposo. Sin embargo, esta opción plantea desafíos significativos debido a las diferentes necesidades nutricionales y procesos de maduración de cada tipo de célula, lo que complicaría la optimización del proceso productivo (Bhat et al., 2019).

Otra posibilidad sería la de añadir grasas vegetales al producto final, ya que son más rentables. No obstante, esta solución solo resolvería el problema en los productos procesados y no en las imitaciones de carne fresca (Cassiday, 2018). Ya sea mediante la adición de suplementos al medio de cultivo o la producción conjunta de células musculares y adipocitos, la investigación en este aspecto será fundamental en futuros estudios (Tomiyama et al., 2020).

En lo relativo al color, la carne cultivada en los laboratorios presenta un tono pálido que oscila entre grisáceo y amarillento, en contraste con el característico rojo de la carne de vacuno. Esta diferencia se debe a la ausencia de mioglobina en las células cultivadas, ya que su producción se inhibe en condiciones ambientales de oxígeno como las que tienen lugar en el interior del biorreactor (Bhat et al., 2019). Para abordar este desafío, se plantean dos alternativas: cultivo celular en condiciones hipóxicas o recurrir al uso de aditivos en el medio de cultivo. Se ha observado que la adición de metmioglobina⁷ promueve la proliferación de células y confiere al producto un color marrón más similar al de la carne convencional (Fraeye et al., 2020).

⁷ La metmioglobina se trata de la forma oxidada de la mioglobina (Fraeye et al., 2020).

5.2. Costes y técnicas de producción

Un factor crucial para garantizar la viabilidad y aceptación por parte del consumidor de la carne cultivada en el mercado es el precio. La reducción de los costes de producción, permitiría crear un producto competitivo capaz de sustituir a la carne convencional. No obstante, para alcanzar este objetivo, se debe abordar numerosos desafíos tecnológicos, desarrollando un proceso de producción eficiente, seguro y a gran escala (Arshad et al., 2017).

Distintos estudios concuerdan que el principal factor generador de costos para la producción a escala industrial de carne cultivada es el medio de cultivo celular (Cassiday, 2018). El desafío inicial radica en reemplazar el suero fetal bovino (SFB) y otros elementos derivados de animales en este medio. Actualmente, el SFB es un suplemento fundamental para el crecimiento de las células animales, pero su precio elevado, composición compleja, variabilidad entre lotes y riesgo de contaminación lo hacen poco viable si se busca reducir costos. Además, su uso va en contra del propósito de la carne cultivada, que busca excluir a los animales del proceso productivo (Guan et al., 2021).

Los medios libres de componentes animales han experimentado avances significativos en los últimos años en respuesta a las presiones regulatorias, especialmente en la industria farmacéutica, debido al mencionado riesgo de contaminación (Specht et al., 2018). Se han logrado mejoras graduales para la proliferación celular en medios sin suero, mediante estrategias como la adaptación celular o la sustitución por nutrientes esenciales y factores de crecimiento sintéticos o de origen vegetal (Zhang et al., 2020). Se estima que una transición hacia medios de cultivos sin componentes de origen animal podrían suponer una reducción del 40% de los costos de producción (Kolkmann, 2020). Sin embargo, para alcanzar una paridad de precios con la carne convencional, será necesario reducir los precios tanto de los medios basales como de los factores de crecimiento (Specht et al., 2018).

La elección de la fuente celular es otro factor crítico en términos de costo y escalabilidad en la producción de carne cultivada (Tomiyama et al., 2020). Para garantizar la rentabilidad a largo plazo de este proceso, se plantea la posibilidad de modificar genéticamente la fuente celular para conferirle la inmortalidad (Specht et al., 2018). Esta modificación permitiría obtener un gran de células iniciadoras homogéneas, lo que

facilitaría la proliferación y diferenciación ilimitada (Zhang et al., 2020), reduciendo así la dependencia de tejido animal (Stephens et al., 2018).

Sin embargo, las células inmortalizadas presentan desafíos, como la inestabilidad genética y la divergencia con las células primarias a medida que se multiplican, lo que conlleva diferentes tasas de crecimiento (Zhang et al., 2020). Una posible solución sería emplear las líneas celulares de manera análoga a las cepas de fermentación utilizadas para la producción de cerveza, renovándolas periódicamente para evitar la deriva genética (Specht et al., 2018).

Además, se podrían aplicar técnicas de edición genética para crear líneas celulares que requieran niveles más bajos de factores de crecimiento exógenos para su proliferación y diferenciación (Specht et al., 2018). La aplicación de técnicas de edición genética y la elección cuidadosa de las líneas celulares podrían ser clave para superar estas limitaciones y avanzar hacia una producción más eficiente y sostenible de carne cultivada.

Otro desafío que obstaculiza la producción a gran escala son las dificultades asociadas al tamaño de los biorreactores (Zhang et al., 2020). La ampliación del proceso presenta dificultades en términos de monitoreo, contaminación y distribución del medio de cultivo (Tuomisto, 2019). El diseño y desarrollo de biorreactores inteligentes que permitan la optimización del proceso productivo a escala industrial sería un hito crucial en el campo del cultivo de células animales (Guan et al., 2021).

Actualmente, es indispensable desarrollar tecnologías que posibiliten la supervisión en tiempo real y de bajo costo del rendimiento del sistema, las condiciones de los medios y la viabilidad de las células (Specht et al., 2018). Además, se requiere la implementación de sistemas cerrados para reducir el riesgo de contaminación (Ben-Arye & Levenberg, 2019), así como la aplicación de sistemas de reciclaje de medios para maximizar su aprovechamiento una vez eliminados los componentes tóxicos (Guan et al., 2021).

El desarrollo de “andamiajes” comestibles que permitan la producción de trozos gruesos de carne y el cocultivo de diferentes tipos celulares, así como la distribución uniforme del medio de cultivo, representa otro desafío decisivo en la fabricación de estructuras complejas para la carne cultivada. Para lograr una producción eficiente, estos andamios deben provenir de fuentes económicas y libres de componentes animales, siendo las plantas transgénicas una opción prometedora para su producción a gran escala (Ben-Arye

& Levenberg, 2019). Los andamios ideales deben proporcionar una amplia superficie específica para promover la adhesión y el crecimiento celular, junto con propiedades flexibles que permitan la contracción y relajación de las células. Además, es fundamental garantizar una óptima afinidad y compatibilidad con las células, así como considerar su capacidad de digestión, su seguridad alimentaria, su viabilidad económica y su capacidad para ser ampliamente escalados en la producción de carne cultivada (Guan et al., 2021).

Aunque inicialmente la carne cultivada podría tener un precio más elevado que la convencional, se espera que los costos disminuyan a medida que la producción aumente, siguiendo un patrón similar al observado en otras industrias tecnológicas emergentes, como la de la energía renovable (Tomiya et al., 2020). Además, es importante considerar la falta de información de la que disponemos ya que la mayoría de los avances tecnológicos se producen en empresas privadas, las cuales suelen ser selectivas en cuanto a la información que comparten sobre sus procesos con el público (Stephens et al., 2018). La carne cultivada, además de representar una novedad en términos de producto final, representa un caso clásico de innovación de procesos, lo que justifica que las empresas busquen proteger estos intangibles de la competencia (Treich, 2021).

A continuación, la Figura 3 muestra un mapa conceptual que detalla la estructura de la industria de la carne cultivada, resaltando los diferentes sectores tecnológicos clave y las diversas tecnologías que contribuyen a su desarrollo y comercialización.

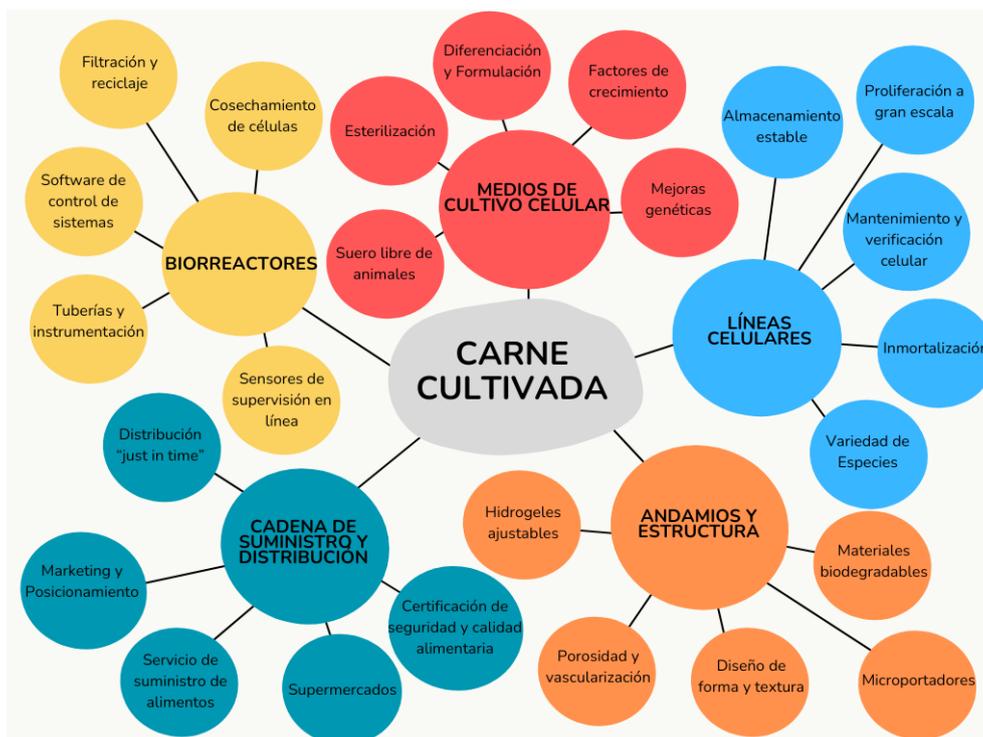


Figura 4. Mapa conceptual de la industria de la carne cultivada. Elaboración propia. Adaptado de: “*Opportunities for applying biomedical production and manufacturing methods to the development of the clean meat industry*”, por Specht et al., 2018, *Biochemical Engineering Journal*, 132, 162.

VI. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CARNE CONVENCIONAL FRENTE A LA CARNE CULTIVADA

6.1. Sostenibilidad y medio ambiente

El sector pecuario se sitúa entre los tres sectores con las repercusiones más graves para el medio ambiente, siendo únicamente superado por el energético y textil, debido a la magnitud de su impacto a todos los niveles (Steinfeld, 2009). Tanto la ganadería intensiva como extensiva conllevan una serie de problemas que contribuyen directamente con el cambio climático, como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación del agua, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (Astrain et al., 2022).

Actualmente, se estima que la producción de carne es responsable del 9% de las emisiones de CO₂, el 37% de metano, 65% de óxido nitroso y 64% del amonio (Steinfeld, 2009). En total, la ganadería contribuye con aproximadamente el 18% de los gases de efecto invernadero, lo que promueve el calentamiento global, la lluvia ácida y la destrucción de ecosistemas (Cassiday, 2018).

Además, se calcula que el sector ganadero consume cerca del 8% del agua disponible (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018). Asimismo, constituye una de las mayores fuentes de contaminación del agua debido a los desechos de los animales, el uso de antibióticos y hormonas, los productos químicos empleados como fertilizantes y pesticidas, así como la sedimentación de pastizales (Bhat et al., 2019).

La huella terrestre también es significativa, ya que aproximadamente el 30% de la superficie terrestre se destina a la ganadería, bien sea para el cultivo de forraje o para el pastoreo (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018). La explotación ganadera es uno de los principales impulsores de la deforestación, siendo responsable del 14% de la deforestación anual a nivel mundial y un 80% de la deforestación en los países amazónicos (Bhat et al., 2019). Además de contribuir a la degradación, compactación, erosión y desertificación del

terreno debido al sobrepastoreo, así como a la contaminación por metales pesados (Steinfeld, 2009).

Estas estrategias de sobreexplotación también han colaborado en la reducción de la biodiversidad, causando una pérdida del 52% de toda la vida silvestre del mundo en los últimos 50 años (Treich, 2021). Quince de veinticuatro ecosistemas se encuentran en declive y un 22% de los animales están en peligro de extinción por la destrucción de sus hábitats (Steinfeld, 2009).

Adicionalmente, los sistemas de producción tradicionales son relativamente ineficientes, ya que la tasa de conversión del alimento a proteína es de alrededor de un 15% para la carne de vacuno, un 30% para los cerdos y un 60% para los pollos (Cassiday, 2018). Esto es resultado de la pérdida de gran parte de nutrientes en el metabolismo de los animales, así como en el desarrollo de partes, como huesos y despojos no comestibles, que no se consumen como carne (Bhat et al., 2019).

En comparación con la ganadería tradicional, la carne cultivada representa potencialmente una alternativa sostenible y ecológica de producir carne, al mitigar muchos de los efectos adversos asociados con la producción tradicional. Según estudios recientes, la adopción de la carne cultivada implicaría una reducción aproximada de un 85% de las emisiones de gases de efecto invernadero, un 99% menos de uso de tierra, un 82% menos de agua y un 46% menos de energía en contraste con la carne tradicional (Zhang et al., 2020). Se estima que la carne cultivada podría ser aproximadamente seis veces más eficiente que la producción convencional de carne de vacuno, siendo un rebaño de 150 millones de vacas suficiente para alimentar al mundo entero frente a los 1.500 millones de vacas que actualmente existen en el planeta (Cassiday, 2018). La tierra liberada se podría emplear para la recuperación de ecosistemas, ayudar a la reforestación y restauración de especies o destinarla al cultivo de biocombustibles (Bhat et al., 2019).

Los estudios actuales que intentan modelar el impacto ambiental de la carne cultivada presentan considerables incertidumbres, ya que se basan en estimaciones para la producción a gran escala, para la cual aún no existen datos disponibles (Rasmussen et al., 2024). Algunos autores como Lynch y colegas sostienen que las emisiones de GEI se verán reducidas inicialmente, pero a largo plazo podrían no ser tan favorables, ya que el metano, producido por los excrementos animales, que es una fuente importante de GEI en la ganadería convencional, se descompone más rápido en la atmósfera que el dióxido

de carbono (CO₂) generado por el uso de energía fósil en la producción de células cultivadas (Linch & Pierrehumbert, 2019).

Otros autores han señalado que la comparación entre carne convencional y cultivada para emisiones de GEI debe hacerse según el animal. Sostienen que la ganadería convencional puede ser más eficiente en la producción de aves, tener un rendimiento similar en el caso de los cerdos y ser más perjudicial en el caso de la carne de vacuno (Tuomisto, 2019). Otro aspecto preocupante es la "Paradoja de Jevons" o "Efecto adición", que plantea que una tecnología que aumenta la eficiencia de producción también puede aumentar la demanda, lo que podría resultar en un impacto ambiental similar o incluso peor. En el caso de la carne cultivada, esto podría ocurrir si no reduce el consumo de carne convencional y simplemente aumenta el consumo total de carne. Por el contrario, el "efecto sustitución" sugiere que un aumento en el consumo de carne cultivada podría llevar a una disminución en el consumo de carne convencional (Stephens et al., 2018).

Aunque todavía queda mucha investigación por realizar para determinar el impacto ambiental real de la producción de carne cultivada a gran escala, todo indica que prescindir de los animales en este proceso podría preservar significativos recursos, especialmente tierra y agua, además de brindar beneficios sustanciales en materia de bienestar animal, como veremos más adelante (Gisie, 2022). Sin embargo, para que la carne cultivada sea verdaderamente una alternativa sostenible que valga la pena implementar, parece ser crucial obtener fuentes de energía con bajas emisiones o optimizar el uso de la energía (Rasmussen et al., 2024).

6.2. Bienestar animal

A lo largo de la historia, el ser humano ha estado estrechamente vinculado a la explotación y utilización de los animales con distintos propósitos. Si bien su principal función siempre ha sido como fuente de alimento, también han sido empleados como herramientas de trabajo, en la fabricación de prendas de vestir, como medio de transporte, como sujetos de experimentación médica e incluso como moneda, entre otras muchas funciones (Spilsbury, 2016). A pesar de los avances tecnológicos que han llevado a la sustitución de los animales por máquinas en muchas tareas, hasta ahora no se había encontrado una alternativa ampliamente aceptada para eliminar completamente su uso en la alimentación, como la de la carne cultivada.

Los avances en los estudios biológicos han revelado cada vez más las capacidades cognitivas y emocionales en los animales (Treich, 2021). Estas investigaciones refutan la percepción tradicional que ha caracterizado la visión sobre la inteligencia del ganado, considerada anteriormente de manera simplista y subestimada. Específicamente, en el caso de los animales de granja se ha demostrado que los cerdos muestran señales de empatía, las cabras manifiestan una desarrollada inteligencia social y las vacas una gran capacidad de autoconciencia (Grimm, 2023). Estos nuevos hallazgos han generado un gran impacto a nivel social, provocando un aumento en las críticas hacia la explotación animal y la demanda de niveles mínimos de bienestar animal, así como la abolición de la actividad ganadera (Cassiday, 2018).

En este contexto, los sistemas actuales de producción de carne plantean una serie de dilemas éticos, ya que involucran el procesamiento miles de millones de animales cada año (Bhat et al., 2019). Se estima que cada año se sacrifican más de 70 mil millones de animales de granja para consumo humano (Treich, 2021). El sufrimiento y la muerte de animales es una parte inevitable de la ganadería convencional (Bhat et al., 2019). Si bien se han modernizado los métodos de aturdimiento para incapacitar al animal y minorar su sufrimiento, su utilización no es generalizada y varía según la legislación de cada país (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018).

Estas circunstancias se ven agravadas por las condiciones de cría en la que se encuentran la mayoría de estos animales. La ganadería intensiva, de la cual se obtiene el 95% de la carne consumida en los países desarrollados, prioriza los beneficios y las economías de escala sobre el bienestar animal (Chriki & Hocquette, 2020). En estos sistemas, los animales suelen estar confinados en jaulas o espacios reducidos sin acceso al exterior, a menudo en condiciones de hacinamiento y sobrepoblación que les impide realizar movimientos básicos como caminar o darse la vuelta (Treich, 2021). Esta alta concentración de animales aumenta el riesgo de propagación de enfermedades y epidemias zootómicas, como se discutirá más adelante.

Por otro lado, en estos corrales de engorde, los animales son cebados, provocándoles en muchos casos enfermedades de forma deliberada. Además, muchos son apartados de sus crías las cuales sacrifican a edades muy tempranas, lo que genera un estrés adicional para ambos (Steinfeld, 2009). Durante el proceso de crianza, se realizan muchas prácticas dolorosas, como la castración sin anestesia, el recorte de cuernos, diente o pico, e incluso

corte de cola. En resumen, todas estas situaciones afectan al animal tanto física como emocionalmente, provocando aburrimiento, angustia, ansiedad o miedo (Treich, 2021).

La carne cultivada surge como una alternativa a la carne convencional con una ventaja fundamental: elimina las vicisitudes que afectan a los animales al acabar con el sacrificio y el sufrimiento en todas las etapas de su vida (Bhat et al., 2019). Es por lo que también se le conoce como “carne limpia”, “carne sin víctimas” o “sin muertes” (Chriki & Hocquette, 2020). La carne resultante del proceso in-vitro, al carecer de sistema nervioso, no experimentaría ningún dolor. Además, estas células no podrían desarrollarse en un ser sintiente en ningún momento del proceso (Treich, 2021). La biopsia sería la única etapa de la producción donde se causaría algún daño al animal, sin embargo, estas son poco invasivas y se llevarían a cabo preferiblemente cada tres meses, con un límite de cuatro por sesión para asegurar tiempos de recuperación adecuados para el bienestar animal (Lanzoni, 2024). Asimismo, este nuevo sistema de producción reduciría significativamente el número de animales necesarios, ya que las células madre involucradas en la fabricación podrían proliferar repetidamente, siendo necesario una cantidad insignificante en comparación con la carne tradicional, que sirvan como donantes de tejido (Rasmussen et al., 2024).

La producción de carne cultivada también daría la oportunidad de que cada productor crearía su propia versión del producto, brindando diversidad y competitividad al mercado, así como favorecer la retención genética de las razas locales tradicionales y salvaguardar la biodiversidad (Stephens et al., 2018). Del mismo modo, al no involucrar sacrificios de animales, se podría optar por apuestas más arriesgadas como animales exóticos (Bhat et al., 2019).

A pesar de todas las perspectivas positivas que brinda la carne cultivada, aún persisten desafíos por superar. El principal es eliminar por completo el uso de suero fetal bovino como medio de cultivo del proceso productivo. Este suero se obtiene mediante una punción a los fetos de hasta tres meses de las vacas enviadas al matadero (Stephens et al., 2018). Según las últimas estimaciones, se venden alrededor de 800.000 litros de SFB al año, lo que equivaldría a dos millones de fetos sacrificados (Lanzoni, 2024). Esta práctica, además de insostenible a largo plazo, entra en conflicto con la ética y valores de evitar el sufrimiento animal inherentes a esta nueva tecnología. Aunque varias empresas afirman haber desarrollado sueros a base de productos no animales, estos suelen ser menos

eficaces como medio de cultivo en comparación con los derivados de animales (Ben-Arye & Levenberg, 2019).

La capacidad de producir alimentos sin recurrir a la explotación animal, podría abrir nuevas oportunidades económicas cuyo alcance aún es difícil de anticipar. Este escenario probablemente transformará radicalmente nuestra relación con los animales, particularmente con aquellos destinados a la ganadería, cambiando nuestra percepción de comida por la de cohabitantes con derechos y protección, alojados en santuarios o en granjas que respeten su integridad y utilicen métodos más éticos de obtención de células (Treich, 2021).

6.3. Seguridad alimentaria

Los defensores de la carne cultivada sostienen que todo su proceso de producción se desarrolla en un entorno altamente controlado, bajo la supervisión constante de investigadores y productores (Specht et al., 2018). Este riguroso nivel de control busca garantizar una mayor seguridad alimentaria en comparación con la de la carne convencional, la cual se encuentra expuesta a diversas fuentes de contaminación en el entorno exterior (Chriki & Hocquette, 2020).

En la mayoría de las granjas, los animales se crían en espacios reducidos y con alta densidad poblacional, lo que incrementa significativamente el riesgo de brotes víricos. Estas condiciones facilitan la rápida propagación de enfermedades, lo que requiere la implementación de costosos protocolos de vacunación y aumenta el peligro de contagios masivos en caso de extenderse (Chriki & Hocquette, 2020).

Los modelos tradicionales de ganadería presentan riesgos asociados al uso excesivo de antibióticos, la propagación de enfermedades animales y la aparición de nuevas epidemias zoonóticas (Zhang et al., 2020). El uso desmesurado de antibióticos en la cría intensiva como promotores de crecimiento ha provocado el desarrollo de cepas bacterianas resistentes a los fármacos (Bhat et al., 2019).

Además, la carne cultivada elimina una amenaza para la salud presente en la producción convencional: el proceso de “sacrificio”. En este último, las piezas de carne están expuestas al riesgo de contaminación bacteriana si no se sigue un protocolo de higiene adecuado (Bhat et al., 2019). Por ejemplo, patógenos como E. coli, Salmonella y

Campilobacter son responsables de millones de casos de enfermedades cada año, siendo la carne picada especialmente susceptible a estas bacterias (Chriki & Hocquette, 2020).

Por último, la exposición de los animales a tóxicos químicos, como pesticidas o metales pesados, supone una importante preocupación, ya que pueden contaminar la carne desde el medio ambiente o durante el procesamiento y dañar la salud humana en caso de consumo crónico (Bhat et al., 2019).

En contraste, la carne cultivada implementa un sistema de monitoreo en línea, para analizar continuamente la calidad de la carne. Este sistema permite ajustar las concentraciones óptimas de medicamentos evitando la contaminación bacteriana y asegurando la seguridad alimentaria (Zhang et al., 2020). La producción de carne cultivada en un ambiente controlado posibilita asegurar su inocuidad y autenticidad, generar productos libres de adulterantes, eliminar la presencia de trazas de medicamentos que favorezcan la resistencia farmacológica, así como evitar la aparición de Enfermedades de Transmisión Alimentaria (ETA) (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018).

Sin embargo, debido a la novedad de la carne cultivada, aún no conocemos todas las consecuencias para la salud derivadas de su consumo (Chriki & Hocquette, 2020). Algunos autores consideran que es demasiado pretencioso asegurar que el proceso de producción está perfectamente controlado, ya que pueden surgir mecanismos biológicos inesperados en las distintas etapas del proceso (Broucke et al., 2023). Asimismo, es importante tener en cuenta que, con la comercialización, la producción se trasladará desde los laboratorios a las fábricas para su producción en gran escala. En este contexto, será imposible eliminar todos los riesgos, especialmente los errores humanos. Por lo tanto, será necesario contar con un personal altamente cualificado, compuesto por químicos, biólogos, ingenieros químicos entre otros (Lanzoni, 2024).

El riesgo de seguridad alimentaria asociado a la carne cultivada abarca la seguridad química, la bioseguridad y la seguridad nutricional (Guan et al., 2021). Desde el punto de vista de la bioseguridad, el alto grado de multiplicación celular que se produce en los biorreactores podría conducir a una desregulación de las líneas celulares, resultando en la formación de células cancerosas. Aunque estas células pueden ser eliminadas antes del consumo, existe la posibilidad de que esto tenga efectos potencialmente peligrosos en el metabolismo y la salud de los humanos una vez consumidas (Chriki & Hocquette, 2020).

Además, preocupa la posibilidad de que las células de animales infectados se transmitan al cultivo a través de la biopsia. No obstante, este riesgo puede minorarse mediante una inspección rigurosa tanto de los animales como de las muestras en busca de infecciones (Lanzoni, 2024).

Otro posible inconveniente surge de los residuos de productos desechables involucrados en el proceso productivo, como embalajes, plásticos y productos de limpieza, los cuales podrían dejar trazas de sustancias químicas tóxicas. Por tanto, es crucial implementar procedimientos de limpieza efectivos y utilizar materiales con certificación de calidad alimentaria (Broucke et al., 2023).

Con la creciente preocupación de los consumidores por la calidad de los alimentos que consumen, la tendencia del mercado se inclina hacia productos más saludables. En este contexto, si la carne cultivada logra superar los desafíos en materia de seguridad alimentaria que enfrenta, podría convertirse en un verdadero valor distintivo frente a la carne tradicional (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018). Es indispensable establecer unos criterios homogéneos para evaluar la seguridad alimentaria de la carne cultivada e implantar una regulación dirigida al control de los sistemas productivos, así como los materiales empleados. Es crucial que esto se aborde sin demora para proporcionar una orientación sobre la cual dirigir la investigación de la carne cultivada (Guan et al., 2021).

6.4. Valor nutricional

La carne ha sido reconocida tradicionalmente como un alimento altamente nutritivo, gracias a su alto contenido de proteínas, las cuales ofrecen una excelente composición de aminoácidos, además de contener vitaminas y minerales esenciales (Fraeye et al., 2020). Los aminoácidos presentes en la carne animal muestran una mayor biodigestibilidad que las proteínas obtenidas de fuentes no animales, estimándose que 100g de carne pueden cubrir hasta el 50% de los requerimientos diarios (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018).

Sin embargo, en los últimos años se ha asociado el consumo de carne, especialmente carne roja, con un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer y obesidad (Tomiya et al., 2020) Esta preocupación se ve respaldada por la presencia de grasas saturadas en la carne de vacuno, las cuales se han relacionado con la acumulación de colesterol y problemas intestinales. Este cambio en la percepción hacia la carne plantea interrogantes sobre su idoneidad como parte de una dieta saludable y ha llevado a una

búsqueda de alternativas alimenticias que puedan ser más beneficiosas para la salud a largo plazo (Bhat et al., 2019).

El objetivo de la carne cultivada es replicar y mejorar el perfil nutricional de la carne convencional (Lanzoni, 2024). Actualmente, las investigaciones indican que los métodos de cultivo utilizados producen una carne cultivada con una composición similar a la de la carne tradicional (Broucke et al., 2023). No obstante, por el precio más elevado de la carne cultivada en comparación con la convencional, se espera que ofrezca una serie de beneficios adicionales para justificar su coste. Es muy probable que estas ventajas estén relacionadas con un perfil nutricional mejorado (Tuomisto, 2019).

Los avances en ingeniería de tejidos abren la posibilidad de modular la composición de la carne cultivada, lo cual permitiría crear un producto con un perfil nutricional más atractivo. Esta tecnología ofrece la oportunidad de superar las desventajas asociadas a la carne tradicional (Cartin-Rojas & Ortiz, 2018). Por ejemplo, las grasas saturadas podrían ser ajustadas y sustituidas por otro tipo de compuestos grasos más saludables como los ácidos grasos Omega-3 o grasas poliinsaturadas (Chríki & Hocquette, 2020). Asimismo, se podría enriquecer la carne cultivada con micronutrientes esenciales como vitaminas y minerales adicionales aumentando así su contenido de hierro, zinc y vitaminas B12, lo que resultaría en un producto con valores nutricionales más constantes en comparación con la carne tradicional, que puede variar dependiendo del tipo de animal, su alimentación y raza (Lanzoni, 2024). Sin embargo, es importante tener precaución con la adición de sustancias, ya que podría resultar en un alimento con un aspecto más "químico" y una etiqueta menos limpia, lo que podría afectar negativamente a su aceptación por parte del consumidor (Chríki & Hocquette, 2020).

6.5. Impacto político, social y económico

A la hora de abordar el tema de la carne cultivada, es crucial apartarse de la narrativa promisoriosa impulsada por los actores corporativos y mediáticos sobre la capacidad de estos nuevos alimentos de superar los impactos negativos asociados con la producción tradicional. Lo cierto es que la abundancia de retórica, junto con la falta de investigación científica, ha generado un discurso ambiguo y prematuramente optimista. Por lo tanto, se necesita un análisis continuado de los impactos, tanto positivos como negativos, que puede tener la carne cultivada y cómo estos podrían afectar a la sociedad y la economía,

así como posiblemente reconfigurar las políticas existentes (Stephens et al., 2018). Dicho análisis debería tener en cuenta quiénes podrían ser los posible “beneficiados” y “perjudicados” a medida que el sector de la carne cultivada se desarrolle.

Estamos ante un ejemplo paradigmático de economía intangible, donde el valor de las ideas y el conocimiento supera al del capital físico. Nos hallamos en una coyuntura en la que aquel que triunfe se llevará una parte significativa del premio (Treich, 2021). Este contexto genera la preocupación de que la industria cárnica se concentre en un grupo pequeño de grandes corporaciones multinacionales (Stephens et al., 2018). Esta situación amenazaría la producción tradicional de alimentos a pequeña escala y podría desencadenar en una desigualdad global en el negocio alimentario (Rasmussen et al., 2024). Sin embargo, es importante no exagerar este temor a respecto al potencial aumento de poder del mercado. Por un lado, el sistema alimentario ya se encuentra altamente concentrado (Treich, 2021). De hecho, cuatro corporaciones controlan más del 70% de la industria de las semillas y los agroquímicos, mientras que en lo que respecta a proteína animal, cinco empresas dominan aproximadamente el 52% del negocio, y otras seis controlan 50% del sector de equipos agrícolas (Rasmussen et al., 2024). Por otro lado, debemos recordar que existen varios tipos de carne, y no está claro si la carne cultivada supondrá una ventaja clave para la producción de todas ellas, lo que hace improbable que solo unas pocas empresas acaben dominando el mercado mundial de la carne (Treich, 2021). Algunos autores han propuesto alternativas de producción para un cambio hacia relaciones más locales y conectadas con el consumidor final, como el concepto del “cerdo en el patio trasero”⁸ o ideas de rebaños de donantes comunitarios “libres de sacrificio” para abastecer a las diferentes áreas locales (Stephens et al., 2018; Van der Weele & Driessen, 2013)

A nivel macroeconómico, la adopción generalizada de carne cultivada supone un riesgo para los principales países que participan directa o indirectamente en la producción convencional de carne, los cuales podrían ver su demanda de carne mermada. Este peligro es especialmente relevante en los países en vías de desarrollo, cuya economía depende en gran medida de la agricultura y la ganadería (Bhat et al., 2019).

Del mismo modo, existe la preocupación de que la transición hacía la carne cultivada

⁸ Propuesta en la que se plantea la posibilidad de producir carne cultivada en casa a partir de biopsias de animales ubicados en el propio jardín, utilizando un biorreactor en miniatura que podría diseñarse como un electrodoméstico más (Van der Weele & Driessen, 2013).

acentúe aún más la disparidad económica entre Norte y el Sur global, ya que los países del Sur pueden tener menos recursos para adoptar esta nueva tecnología. Para que la carne cultivada realmente suponga una solución éticamente aceptable, deberá ser accesible para personas de todos los estratos económicos y culturales (Stephens et al., 2018). Una estrategia para lograrlo podría ser implementar programas de transferencia de tecnología que hagan accesible la carne cultivada en los países del tercer mundo (Tuomisto, 2019).

El desarrollo de la carne cultivada requiere gran cantidad de financiación, la cual se fundamenta en las proyecciones de los rendimientos esperados del mercado. A pesar de la incertidumbre inherente a este nuevo producto, estas inversiones se ven respaldadas por una serie de compromisos y valores subyacentes, como la lucha contra el cambio climático y el bienestar animal, que certifican su potencial (Rasmussen et al., 2024). Entre estos “*stakeholders*” se encuentran inversores públicos, como ONGs y gobiernos, que proporcionan infraestructura y regulan de manera indirecta las actividades del mercado (Lanzoni, 2024). Es esencial que los gobiernos adopten una postura activa proporcionando apoyo financiero mediante subsidios, subvenciones y beneficios fiscales, facilitando así la transición de productores de menor escala hacia la producción de carne cultivada (Stephens et al., 2018).

Debido el menor espacio requerido para la producción de carne cultivada en comparación a la ganadería tradicional, se prevé que las fábricas se ubiquen cerca de los principales núcleos urbanos para minimizar los costos de transporte. Esta situación podría desencadenar un traslado de las oportunidades laborales desde las zonas rurales hacia las ciudades, lo que podría agravar aún más el problema de la despoblación (Bhat et al., 2019). De igual manera, la disponibilidad de tierras agrícolas podría verse afectada, ya que no será necesaria para la producción ganadera, ni para el pastoreo ni como terreno de cultivo para el forraje. Esta situación podría repercutir en un abandono de la tierra, con todos los riesgos asociados, como la degradación del suelo y el riesgo de incendio. Aunque es posible reconvertir estas tierras para la producción de productos vegetales destinados al consumo humano, los costes de transición pueden resultar prohibitivos para los pequeños agricultores y ganaderos (Treich, 2021).

Además, los empleos disponibles en este sector exigirán un alto grado de tecnificación, lo que podría afectar a muchos trabajadores menos cualificados asociados a la industria cárnica. La implementación de robótica también es una opción viable dado el elevado

nivel tecnológico de estas instalaciones (Bhat et al., 2019). Los gobiernos, para frenar este efecto adverso, deberán implementar políticas que protejan a los trabajadores agrícolas (Tomiyama et al., 2020). Asimismo, será necesario invertir en programas de formación destinados a actualizar las habilidades de la fuerza laboral existente, orientándola hacia puestos que requieran una gama más amplia de cualidades y conocimientos que trasciendan los roles tradicionales (Stephens et al., 2018).

En la actualidad, el mercado de la carne cultivada no está completamente establecido, por lo que no podemos evaluar con exactitud su demanda y, por ende, nos limita a hacer pronósticos sobre las posibles consecuencias asociadas (Treich, 2021). Es probable que estas repercusiones se vayan manifestando gradualmente a medida que avance la investigación, lo que permitirá el desarrollo de políticas para mitigar su impacto negativo. Algunos aspectos socioeconómicos positivos asociados a la carne cultivada incluyen una mayor eficiencia en la fabricación, la diversificación de la producción, el surgimiento de nuevos sectores y la creación de empleos adicionales (Lanzoni, 2024). Además, es probable que en las próximas décadas coexistan la carne convencional, la de origen vegetal y la cultivada, aumentando así la competencia en el sector (Ben-Arye & Levenberg, 2019).

La producción de carne cultivada requiere una sólida inversión de capital, conocimientos especializados y recursos adecuados (Rasmussen et al., 2024). En este escenario, resulta imperativo un esfuerzo coordinado entre empresas privadas y gobiernos para afrontar de manera colaborativa la comercialización de este nuevo producto y mitigar cualquier posible impacto negativo para la sociedad. Esto implica la formulación de planes estratégicos para impulsar la investigación, fortalecer la infraestructura nacional, reforzar la cadena de suministro, así como desarrollar una cartera de talentos para el crecimiento futuro de la industria y facilitar la aprobación regulatoria (Specht et al., 2018). Todo ello debe combinarse con la preservación de nuestros paisajes culturales regionales, el apoyo a los productores de alimentos a pequeña escala y la promoción de una mayor equidad alimentaria a través de una adecuada soberanía alimentaria (Rasmussen et al., 2024).

VII. ASPECTOS LEGALES: MARCO REGULATORIO

7.1. Contexto legislativo internacional

En los últimos años, la evolución del sector alimentario ha planteado desafíos complejos y sin precedentes en los sistemas legislativos de todo el mundo. Las técnicas emergentes para la producción de alimentos, así como la modificación genética de los mismos, suscitan interrogantes sobre la seguridad de su consumo (Chriki & Hocquette, 2020). En términos generales, el marco regulatorio actual refleja una postura cautelosa, priorizando la protección del consumidor y evaluando minuciosamente los potenciales riesgos de estos productos antes de autorizar su comercialización (Lanzoni, 2024).

Esta situación coloca a los organismos reguladores en una encrucijada. Por un lado, existe la posibilidad de autorizar la comercialización de un producto potencialmente dañino para la salud. Por otro lado, está el peligro de ser demasiado cautelosos y retrasar tecnologías realmente beneficiosas. Una baja protección desalienta la innovación, mientras que una alta protección puede generar monopolios y obstaculizar la difusión de la información (Treich, 2021). En este contexto, varios países han desarrollado disposiciones que abordan la producción de estos nuevos alimentos. Estas regulaciones cubren tanto alimentos que son completamente nuevos como aquellos tradicionales que son producidos mediante procesos innovadores (Lanzoni, 2024).

El marco regulatorio de la carne cultivada presenta una diversidad de enfoques entre los distintos países, lo que sugiere una falta de uniformidad normativa (Specht et al., 2018). Sin embargo, existe cierta consistencia en el organismo encargado de su supervisión. Dado que se trata de un producto esencialmente alimenticio, es lógico que las autoridades alimentarias asuman esta responsabilidad (Bhat et al., 2019). El modelo más generalizado implica la implementación de una legislación general para productos nuevos, dejando a la autoridad alimentaria competente la tarea de inspeccionar y aprobar dichos productos (Guan et al., 2021). Este es el caso de Singapur, el primer país donde se autorizó su venta al público, siendo la Agencia de Alimentos de Singapur la que se encargó de su autorización en base a su marco normativo (Lanzoni, 2024). Otros países que han adoptado un enfoque similar incluyen Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Israel, Japón o China (Guan et al., 2021). Sin embargo, hasta la fecha, no existe ningún país que haya desarrollado una regulación *ad hoc* para la carne cultivada (Lanzoni, 2024).

En Estados Unidos, la supervisión de la seguridad alimentaria de la carne cultivada recae en la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) y en el Servicio de Inspección y Seguridad Alimentaria del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-FSIS). La FDA se encarga de las etapas iniciales de la producción, inspeccionando el proceso de multiplicación celular, las instalaciones y garantizando el cumplimiento de los requisitos legales sobre seguridad alimentaria. Por otro lado, la USDA-FSIS supervisa la etapa de comercialización y etiquetado, asegurando que los productos sean seguros y saludables (Broucke et al., 2023). En un acontecimiento sin precedentes, en junio de 2023, la empresa Good Meat obtuvo la aprobación de estas entidades para comercializar su pollo cultivado, lo que representa un cambio significativo y una excelente noticia para los productores de carne cultivada. A través de un acuerdo interinstitucional, estas dos entidades respondieron a las demandas del mercado de manera anticipada, sentando las bases para una posible legislación específica dedicada a estos nuevos productos (Lanzoni, 2024).

La nomenclatura que adoptará este nuevo producto es otra cuestión clave que ha generado un intenso debate (Stephens et al., 2018). Es probable que, siguiendo el precedente establecido con los lácteos o las carnes de origen vegetal, se evite el uso del término “carne” por motivos de protección del consumidor. En su lugar, podría optarse por emplear otro como “proteína cultivada en laboratorio” para describir estos productos (Treich, 2021). Del mismo modo, es también probable que las empresas por temas de marketing, eviten utilizar estos términos asociados con el sufrimiento animal y continúen en la línea de evitar usar la palabra “carne” para designar a su producto (Chriki & Hocquette, 2020).

7.2. Marco regulatorio Unión Europea

La carne cultivada está sujeta al Reglamento (UE) 2015/2283 sobre nuevos alimentos, el cual entró en vigor en el año 2018. Según el artículo tercero de este reglamento, se define como “nuevo alimento” aquel que no haya sido utilizado en una medida significativa para el consumo humano en la Unión Europea antes de 1997. La legislación también requiere que el nuevo alimento cumpla al menos con uno de los diez criterios especificados en el artículo 3, apartado 2, letra a). La carne cultivada claramente se ajustaría dentro de la categoría n. VI relativa a “alimentos compuestos, aislados o producidos a partir de cultivos celulares o tejidos derivados de animales, plantas, microorganismos, hongos o

algas”. Los productos que se encuentren dentro del alcance de este reglamento necesitan una aprobación previa antes de poder ser comercializados dentro del territorio de la UE (Lanzoni, 2024).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) es la encargada de la evaluación de seguridad de los nuevos alimentos (Broucke et al., 2023). Fue establecida como parte del Reglamento (CE) n.º 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, el cual tenía como objetivo establecer unos principios y requisitos generales de legislación alimentaria, así como crear unos procedimientos relativos a la seguridad alimentaria y establecer una entidad competente independiente.

Actualmente, los productos derivados de la carne cultivada no tienen autorización para ser comercializados dentro del mercado único de la Unión Europea (Gisie, 2022). Para su aprobación deberán cumplir el procedimiento establecido en el Capítulo III del Reglamento (UE) 2015/2283 sobre nuevos alimentos. El sistema de aprobación se centra principalmente en la fase de evaluación y gestión de riesgos (Lanzoni, 2024).

El proceso requiere que el solicitante presente un expediente científico completo a la Comisión de la UE que debe incluir detalles sobre el proceso productivo, la composición detallada del nuevo alimento y un informe de seguridad alimenticia, entre otros aspectos relevantes. Después, la Comisión remitirá estos datos a la EFSA para elaborar un dictamen sobre la seguridad del alimento en un plazo máximo de 9 meses. Aunque el dictamen es potestativo y no vinculante, suele solicitarse y seguirse de manera habitual. En caso de que el dictamen resulte favorable, la Comisión presentará al Comité Permanente de Vegetales, Animales, Alimentos y Piensos un proyecto de ejecución para que se autorice la comercialización dentro de los siete meses siguientes. Si el producto obtiene la autorización se incluirá dentro de la Lista de la Unión de Nuevos Alimentos, lo que permitirá que otros interesados distintos al solicitante puedan comercializar el producto sin necesidad de presentar una nueva solicitud. Es importante aclarar que esto no exime del control de calidad y seguridad alimentaria al producto ni al proceso productivo. Además, la Comisión podrá adoptar requisitos de seguimiento postcomercialización por motivos de seguridad alimentaria (Reglamento (UE) n.º 2015/2283, 2015).

El Reglamento (UE) n.º 1169/2011 sobre la información de los consumidores en el etiquetado de alimentos también es relevante para los nuevos alimentos, como la carne

cultivada. En ciertos casos, este reglamento establece requisitos adicionales para la información en el etiquetado, como la descripción del producto, su origen, composición o condiciones de uso, con el objetivo de garantizar la protección e información de los consumidores (Broucke et al., 2023). Este reglamento adquiere una importancia particular en el contexto de incertidumbre sobre la denominación de este tipo de productos. De acuerdo con el reglamento el nombre del alimento debe ser su nombre legal. En caso de no exista tal nombre, se utilizará el nombre por el cual lo conocen los consumidores. Si no fuese posible la aplicación de ninguna de estas designaciones, se empleará un nombre descriptivo, que refleje las características del producto (Froggatt & Wellesley, 2019). La definición de “carne” según el reglamento, como “músculos esqueléticos de especies de mamíferos y aves reconocidas como aptas para el consumo humano con tejido naturalmente incluido o adherente” parece no ajustarse a la carne cultivada. Ante la falta de autorización y, por ende, de un nombre legal para el producto, es crucial que el etiquetado proporcione información clara y precisa a los consumidores sobre el producto y los métodos de producción.

Si durante el proceso de producción de la carne cultivada, se ha modificado genéticamente algún componente, el reglamento aplicable no será el Reglamento (UE) 2015/2283. En su lugar, estarán sujetos al Reglamento (CE) n.º 1829/2003 sobre alimentos y piensos modificados genéticamente. Esto se debe a que el reglamento de la UE sobre nuevos alimentos excluye explícitamente los alimentos modificados genéticamente en su artículo segundo, los cuales están sujetos a procedimientos regulatorios diferentes.

Por último, es importante señalar que, en España, al igual que en el resto de los países miembros de la Unión Europea, el marco regulatorio europeo se aplicará directamente. Esto se debe a la atribución de competencias en materia de comercio dentro del mercado único y protección del consumidor presentes en los artículos 3 y 4 del Tratado Funcionamiento de la Unión Europea.

VIII. PERCEPCIÓN DEL CONSUMIDOR

8.1. Aceptación general del consumidor

Para evaluar el grado de aceptación de los consumidores en los distintos países, hemos recopilado datos de varios estudios, teniendo en cuenta las variaciones en los parámetros de investigación. Esta revisión refleja la aceptación general, la oposición directa, la disposición a probarla y la intención de compra de la carne cultivada, como se muestra en la siguiente tabla. Dada la diversidad en los enfoques de investigación de estos estudios, es crucial interpretar los resultados con cautela, teniendo en cuenta las limitaciones señaladas en la metodología.

CARNE CULTIVADA				
Estudio	Método	País	Muestra	Nivel de aceptación
(Szejda et al., 2021)	Encuesta	Sudáfrica	1.087 adultos de entre 18 y 61 años	El 48.8% se mostró muy favorable, el 59.6% estaría dispuesto a probarla y el 53% la compraría.
(Tucker, 2018)	Focus Groups	Nueva Zelanda	19 focus groups con un total de 69 participantes	El 27.53% se opuso a la carne cultivada.
(Zhang et al., 2020)	Encuesta	China	1.104 adultos	La aceptación fue del 45.51%, con una oposición del 11.97% y el resto de participantes se mantuvieron neutrales. Si bien un 77.14% estaría dispuesto a probarla.
(Gómez-Luciano et al., 2019)	Encuesta	Reino Unido, Brasil, República Dominicana y España	729 adultos	La disposición a comprar en RU fue del 20%, en BR un 11.5%, en RD un 15% y en España un 42%.
(Bryant et al., 2019)	Experimental	EE.UU.	1.185 adultos	El 66.4% estaría dispuesto a probarla, el 55.2% la comería habitualmente y el 48.9% la compraría en lugar de la carne convencional.
(Grasso et al., 2019)	Encuesta	Reino Unido, Países Bajos, Polonia, España y Finlandia	1.825 adultos mayores de 65 años	El 6% consideró aceptable el consumo de proteínas de origen in vitro, mientras que el 21% se mantuvo neutral y aproximadamente el 60% se opuso a su consumo.
(Bryant et al., 2019)	Encuesta	India, China y EE.UU.	3030 adultos	En EE.UU., el 23.6% no estaba interesado en la compra de carne limpia; el 46.6% mostraba cierta probabilidad, mientras que el 29.8% era muy probable. En China, el 6.7%, el 33.9%, y el 59.3%. En la India, el 10.7%, el 32.9%, y el 56.3%, respectivamente.

Tabla 2. Tasa de aceptación de la carne cultivada en función del país. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las distintas fuentes mencionadas.

La mayoría de los consumidores estarían dispuestos a probar la carne cultivada. Sin embargo, al evaluar su intención de compra y su consideración como sustituto de la carne convencional, este interés se reduce considerablemente. Además, es importante destacar que la oposición directa hacia la carne cultivada es minoritaria, y este rechazo disminuye

aún más en los países asiáticos. Este fenómeno podría atribuirse a un menor consumo de carne convencional en estas regiones, lo que resulta en un menor apego de la población hacia este tipo de producto (Bryant et al., 2019). Así se perfila como un mercado potencialmente significativo dada la gran proporción de población que se localiza en la región.

La falta de conocimiento sobre la carne cultivada influye significativamente en la percepción y aceptación de este producto. Se ha observado un aumento del 20% en la aceptación después de proporcionar información a los consumidores sobre el producto y sus beneficios, junto con una reducción del rechazo del 10% (Zhang et al., 2020). Además, se ha notado una mayor predisposición hacia su compra en los *focus groups* una vez que los participantes se familiarizaron con el producto (Tucker, 2018).

En lo que respecta a los niveles de aceptación entre las distintas alternativas proteicas a la carne convencional, la carne de origen vegetal es indiscutiblemente la opción más elegida por los consumidores (Bryant et al., 2019; Gómez-Luciano et al., 2019; Grasso et al., 2019; Szejda et al., 2021; Tucker, 2018). Esto podría atribuirse a una mayor familiaridad con el producto, dado que estas opciones llevan más tiempo en el mercado. En contraste las alternativas a base de insectos o seres unicelulares tienen una aceptación notablemente menor que la carne cultivada (Gómez-Luciano et al., 2019, Grasso et al., 2019).

8.2. Factores sociodemográficos

En lo relativo a factores demográficos, los estudios muestran una tendencia consistente en el tipo de consumidor más inclinado hacia la aceptación de la carne cultivada. Aspectos como la edad, el género, el entorno geográfico, la educación y el nivel socioeconómicos son determinantes para identificar la predisposición de un consumidor hacia este producto.

- **Edad**

Los resultados en Sudáfrica sugieren que los ciudadanos más jóvenes, como los Millennials y la Generación Z, muestran una mayor predisposición hacia a la aceptación de la carne cultivada (Szejda et al., 2021). De manera similar, en Nueva Zelanda y China, se ha observado que una menor edad se relaciona con una mayor aceptación de este tipo de carne (Tucker, 2018; Zhang et al., 2020). Por otro lado, los resultados obtenidos por

Grasso et al., los cuales tenían la muestra más longeva (>65 años), arrojaron los peores resultados en cuanto a atracción hacia la carne cultivada (Grasso et al., 2019). Estos hallazgos refuerzan la idea de que existe una correlación entre la juventud y una mayor aceptación de la carne cultivada, posiblemente debido a una mayor confianza en las nuevas tecnologías y una mayor sensibilidad hacia el medio ambiente y el bienestar animal.

- **Género**

En cuanto al género, las investigaciones revelaron una mayor aceptación por parte de los hombres que por parte de las mujeres (Gómez-Luciano et al., 2019; Grasso et al., 2019; Zhang et al., 2020). Mientras que los hombres parecían más receptivos hacia fuentes de proteínas alternativas, las mujeres mostraban una mayor preocupación por aspectos relacionados con la seguridad, la nutrición y la salud (Zhang et al., 2020). En el caso de los adultos mayores, las mujeres tienen un 43% menos de probabilidades de aceptar comer carne cultivada. Sin embargo, las mujeres estaban más dispuesta que los hombres a reducir su consumo de carne convencional (Grasso et al., 2019). En contraste con Occidente, en lo que respecta a intención de compra, también existen estudios que sugieren una mayor disposición de las mujeres en países como China e India (Bryant et al., 2019).

- **Entorno geográfico**

Los estudios concuerdan en que el contexto geográfico influye en la actitud hacia la carne cultivada. Se observa una mayor aceptación entre las poblaciones urbanas en comparación con las rurales (Bryant et al., 2019; Szejda et al., 2021; Zhang et al., 2020). Esto se puede atribuir a una mayor percepción de antinaturalidad de este producto en las zonas agrícolas (Szejda et al., 2021). Sin embargo, esta tendencia podría estar sesgada debido a la predominancia de participantes urbanos en los estudios. Además, factores culturales, como la dieta, también influyen en la percepción del consumidor. Aquellos que consumen regularmente carne muestran una mayor disposición hacia la carne cultivada en comparación con los vegetarianos y veganos, lo que sugiere que podría convertirse en la principal fuente de proteína para los carnívoros que concientes de los perjuicios de la carne no quieren renunciar a ella (Bryant et al., 2019; Tucker, 2018).

- **Nivel socioeconómico y educativo**

El nivel socioeconómico y la educación parecen tener una correlación positiva con la aceptación de la carne cultivada. La carne cultivada tiende a ser más atractiva para los consumidores de ingresos más altos, esto se observa en países como China, India y Nueva Zelanda (Bryant et al., 2019, Tucker, 2018). El estudio de Gómez-Luciano que analizó países con distintos niveles de riqueza, también determinó que las alternativas a la carne son más aceptadas en los países con mayores ingresos, en este caso España o Reino Unido frente Brasil o RD y sugiere que esto se debe a que los países de menos ingresos otorgan mayor estatus al consumo de carne y por tanto se niegan a abandonarlo (Gómez-Luciano et al., 2019). Por el contrario, en EE.UU. la carne cultivada es más atractiva para las personas con menores ingresos (Bryant et al., 2019), lo que significa que el balance de datos no está claro y se precisa de investigación adicional en este aspecto.

Una mayor educación parece favorecer la aceptación de la carne cultivada (Gómez-Luciano et al., 2019; Grasso et al., 2019; Zhang et al., 2020). Los consumidores con un nivel educativo superior tienen entre un 33% y un 41% más de probabilidades de aceptar comer productos provenientes de fuentes alternativas de proteínas (Grasso et al., 2019). Del mismo modo, existen estudios que relacionan un nivel más elevado de educación con una menor neofobia hacia los productos derivados de nuevas tecnologías (Krings et al., 2022).

8.3. Motivaciones percibidas a la aceptación

La revisión destacó las ventajas medioambientales y el bienestar animal como los principales beneficios percibidos por los consumidores respecto a la carne cultivada, coincidiendo con investigaciones previas (Van der Weele & Driessen, 2013; Hartmant & Siegrist, 2017). Los participantes de los *focus groups* mostraron de media una mayor concienciación con las implicaciones medioambientales de la ganadería intensiva, citando problemas como la contaminación del agua, pérdida de biodiversidad y emisiones de GEI. Además, percibieron beneficios como un menor uso de tierra, agua y un mejor trato animal en la producción de la carne cultivada (Tucker, 2018). En contraste, los adultos mayores no mostraron una inclinación clara a elegir alimentos por motivos de conveniencia y sostenibilidad. Esto podría deberse a una menor concienciación ambiental

o un mayor desconocimiento sobre el impacto de la producción de carne convencional (Grasso et al., 2019).

Otros beneficios comunmente percibidos por los consumidores respecto a la carne cultivada incluyen la seguridad alimentaria, la disminución del uso de antibióticos y la reducción de las epidemias (Bryant et al., 2019; Szejda et al., 2021; Zhang et al., 2020). En China, la salud, la seguridad alimentaria y el valor nutricional fueron los principales predictores para la aceptación de la carne cultivada, posiblemente debido a los numerosos escándalos y enfermedades asociados al mercado nacional de carne convencional (Bryant et al., 2019; Zhang, Lei, & Junfei, 2020). Sin embargo, en general dichos beneficios personales son menos propensos a ser apreciados que los beneficios sociales.

Aunque en menor medida, la carne cultivada también se percibió como una solución a la equidad alimentaria (Szejda et al., 2021). En este sentido, algunos consumidores la ven como una posible respuesta al problema del hambre mundial (Bryant et al., 2019).

Los participantes destacaron aspectos como el económico, la salud y el sabor como principales impulsores de la reducción del consumo de carne. No obstante, al preguntarles acerca de las barreras del consumo de carne cultivada mencionaron nuevamente dichas áreas (Tucker, 2018). Esto nos lleva a concluir que el precio, la salud y el sabor son factores determinantes en la decisión de compra de los consumidores.

8.4. Barreras percibidas a la aceptación

- **Antinaturalidad y neofobia**

En lo que respecta a las principales barreras para la aceptación de la carne cultivada, la percepción de antinaturalidad emerge como un factor destacado, tal como han señalado repetidamente los consumidores en los estudios examinados. La tecnología involucrada en la producción de carne cultivada ha sido etiquetada como "no natural", con algunos participantes expresando preocupación por lo que perciben como una manipulación de la naturaleza (Tucker, 2018). Por ejemplo, en Bryant et al. (2019) el 34,1% de los participantes que se oponían al consumo de carne declararon que la artificialidad era una de las principales causas de su rechazo, lo que muestra una preocupación significativa en este sentido (Bryant, y otros, 2019). Estos resultados están en línea con otros estudios que señalan que los consumidores que más valoran la naturalidad son normalmente los menos dispuestos a probar productos nuevos (Krings et al., 2022)

Por lo tanto, los datos parecen indicar que hay una asociación positiva entre antinaturalidad y neofobia, entendida como la aversión a alimentos desconocidos, que también se identifica como una de las principales barreras a la aceptación (Hartmant & Siegrist, 2017). En este sentido, una mayor sensibilidad hacia los nuevos alimentos, se asocia con una disminución promedio del 43% en las probabilidades de aceptar proteínas de origen in- vitro (Grasso et al., 2019). En República Dominicana, la neofobia fue citada como el principal motivo de rechazo al consumo de carne cultivada (Gómez-Luciano et al., 2019).

- **Salud**

Otra de las principales preocupaciones al consumir fuentes proteicas alternativas es la posibilidad de obtener menos nutrientes en comparación con la carne tradicional (Tucker, 2018). Aunque la carne cultivada se consideraba más sabrosas que la vegetal o la producida a base de insectos, generalmente se percibe como la alternativa menos saludable, nutritiva y segura (Gómez-Luciano et al., 2019). Por ejemplo, el 50% de los encuestados expresaron dudas sobre la aceptación de la carne cultivada debido al temor a que represente una amenaza para la salud humana (Zhang et al., 2020). Algunos autores señalan que estos temores son, de nuevo, una extensión de la inquietud sobre la antinaturalidad de carne cultivada (Tucker, 2018). No obstante, se observó que esta actitud parece ser susceptible de cambio con mayor información disponible (Zhang et al., 2020).

- **Precio**

Los consumidores también manifestaron su incertidumbre acerca de la asequibilidad de la carne cultivada, considerando un precio más elevado que el de la carne convencional como una barrera para su compra. Por ejemplo, los consumidores chinos estarían dispuestos a pagar solo un 2.2% en promedio por la carne cultivada en comparación con la carne convencional, considerando el precio como un factor crucial para su popularización (Zhang et al., 2020). Esta percepción sugiere que el precio puede eclipsar las ventajas de la carne cultivada durante el proceso de compra, llevando a los consumidores a optar por lo más familiar en lugar de lo innovador (Gómez-Luciano et al., 2019). Sin embargo, es importante destacar que el precio tuvo una influencia positiva en la aceptación de la carne cultivada entre los adultos mayores europeos (Grasso et al., 2019). Además, un 31,5% de los consumidores sudafricanos mostraron disposición a

pagar más por la carne cultivada (Szejda et al., 2021). Estos hallazgos indican que si bien algunos consumidores están dispuestos a pagar un precio más alto por la carne cultivada, la mayoría es sensible a los aumentos de precio.

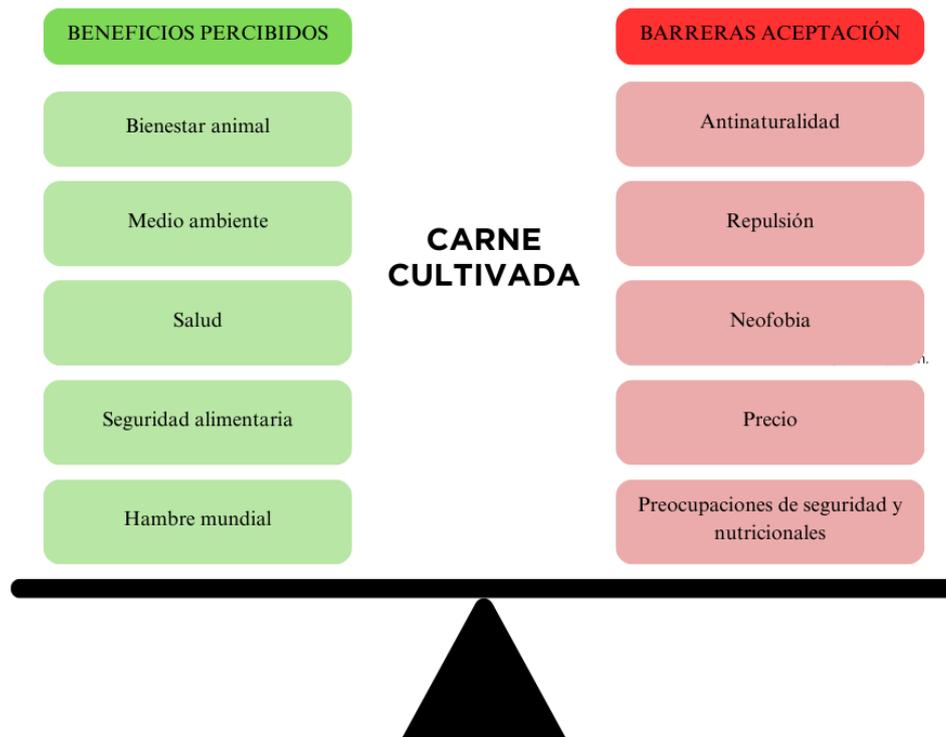


Figura 5. Percepción del consumidor. Elaboración propia.

IX. CONCLUSIÓN

La carne cultivada es una tecnología prometedora con el potencial suficiente para considerarla una alternativa sostenible a la producción de carne convencional. Sin embargo, aún se encuentra en una etapa inicial de investigación con un gran número de desafíos técnicos por superar para su comercialización a gran escala. Estos desafíos incluyen la optimización de los costes y medios de producción, así como el perfeccionamiento de aspectos nutricionales, sensoriales y de seguridad alimentaria, los cuales desempeñarán un papel esencial en la aceptación del consumidor.

Para aprovechar eficazmente los recursos económicos, es esencial establecer una colaboración coordinada entre lo académico y lo industrial, garantizando que las

investigaciones se alineen con las futuras etapas de producción. Un diálogo sólido entre investigadores, proveedores y las propias empresas de carne cultivada puede reducir la necesidad de financiación, reducir costes y maximizar la eficiencia productiva. Asimismo, es necesaria una comunicación efectiva entre los actores privados y las agencias públicas para actualizar la legislación y formular una nueva regulación específica para estos nuevos productos. Esto debe buscar un equilibrio adecuado entre la seguridad alimentaria, la protección del consumidor, la sostenibilidad del medioambiente, el bienestar animal y el impacto socioeconómico. Además, es crucial armonizar a nivel global los términos utilizados para referirse a estos productos, adoptando criterios comunes para un etiquetado adecuado y estableciendo estándares mínimos de producción que protejan al consumidor.

La carne cultivada presenta ventajas significativas en contraste con la carne convencional, particularmente en relación con la sostenibilidad, seguridad alimentaria y bienestar animal. Se ha observado, que el impacto medioambiental varía en función de las especies implicadas, futuras investigaciones se podrían orientar hacia una comparación de los distintos métodos productivos en función del animal. Además, para observar realmente las implicaciones medioambientales será necesario tener en cuenta factores como el “efecto adicción” y la industrialización del sector.

En cuanto a la percepción del consumidor, nuestra investigación ha identificado que el perfil con mayor tendencia a aceptar la carne cultivada es el de un hombre, preferiblemente joven, con un nivel socioeconómico y educativo alto, residente en áreas urbanas y una dieta rica en proteínas animales. Inicialmente, las estrategias de marketing y el diseño del producto podrían centrarse en este público objetivo para optimizar los recursos. Una vez consolidada la presencia en el mercado, se podría ampliar el enfoque a un espectro más amplio de consumidores.

Sin embargo, la respuesta de los consumidores ante los nuevos productos es impredecible, especialmente cuando implican cambios significativos en aspectos socioculturales tan arraigados como la alimentación. Aunque la comercialización a gran escala de la carne cultivada aún este lejos de ser una realidad, los estudios revisados sugieren un creciente interés y aceptación por parte del público. No obstante, se debe ser cauteloso con extrapolar los resultados a la población en general dada la metodología sesgada del estudio. Por ello, sería valioso llevar a cabo encuestas a nivel global en futuras

investigaciones para obtener conclusiones más robustas y representativas. Lo que podemos afirmar con seguridad es la necesidad de una gran campaña informativa para dar a conocer la carne cultivada y sus beneficios potenciales, así como campañas de marketing tendientes a reforzar ideas como su naturalidad, seguridad y sabor. Además, es probable que barreras como la neofobia se superen con el tiempo conforme el producto se introduzca en el mercado y los consumidores se familiaricen con él, siguiendo el patrón observado con otras alternativas a la carne, como las proteínas vegetales.

Para que la carne cultivada tenga éxito en el mercado, es esencial que imite la textura y el sabor de la carne convencional de manera aún más efectiva que los sustitutos vegetales. Si no logra este nivel de similitud, es probable que enfrente dificultades para competir con estos productos alternativos ya asentados en el mercado. Además, debido a su precio más elevado, la carne cultivada deberá ofrecer beneficios adicionales que justifiquen el coste adicional que los consumidores estarían dispuestos a pagar. Estos beneficios podrían manifestarse principalmente en términos de valor nutricional superior, proporcionando una razón convincente para elegir carne cultivada sobre otras opciones disponibles. Desde nuestro punto de vista, la carne cultivada no reemplazará completamente a un mercado tan complejo y arraigado como el de la carne tradicional, sino que abrirá nuevas oportunidades en mercados alternativos y ampliará la competencia en el sector.

DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN TRABAJOS DE FIN DE GRADO

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, Luis Rouco Blanco- Rajoy, estudiante de E3 de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "La carne in- vitro: El futuro de la alimentación sostenible", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
3. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
4. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: mayo 2024

Firma: 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arshad, M. S., Javed, M., Sohaib, M., Saeed, F., Imran, A., & Amjad, Z. (2017). Tissue engineering approaches to develop cultured meat from cells: A mini review. *Cogent Food & Agriculture.*, 3(1). Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1320814>
- Astrain, C., Linares, A., Navarro, A., Urivelarrea, P., & Zabalza, S. (2022). Propuesta de bases técnicas para una estrategia estatal de ganadería extensiva. *WWF. Trasmancia y naturaleza*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/197942>
- Ben-Arye, T., & Levenberg, S. (2019). Tissue engineering for clean meat production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 46. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., Bekhit, A. E., & Bhat, H. F. (2019). Technological, regulatory, and ethical aspects of in vitro meat: A future slaughter-free harvest. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1192-1208. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12473>
- Bilenca, D. N., Codesido, M., Abba, A. M., Agostini, M. G., & Corriale, M. J. (2018). Conservación de la biodiversidad en sistemas pastoriles: buenas prácticas para una ganadería sustentable de pastizal. Kit de extensión para las pampas y campos. *Fundación Vida Silvestre Argentina*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11336/136666>
- Broucke, K., Van Pamel, E., Van Coillie, E., Herman, L., & Van Royen, G. (2023). Cultured meat and challenges ahead: a review on nutritional, technofunctional and sensorial properties, safety and legislation. *Meat science*, 195. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109006>
- Bryant, C. J. (2020). Culture, meat, and cultured meat. *Journal of animal science*, 98(8), 1-7. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa172>
- Bryant, C., Anderson, J., Asher, K., Green, C., & Gasteratos, K. (2019). Strategies for overcoming aversion to unnaturalness: The case of clean meat. *Meat Science*, 154,

- 37-45. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.004>
- Bryant, C., Szejda, K., Parekh, N., Deshpande, V., & Tse, B. (2019). A Survey of Consumer Perceptions of Plant-Based and Clean Meat in the USA, India, and China. *Front. Sustain. Food Syst.* 3. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00011>
- Cartin-Rojas, A., & Ortiz, P. (2018). Ventajas y desventajas del cultivo de carne in vitro: perspectivas desde la seguridad alimentaria. *Rev Med Vet.*, (36), 135-144. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.19052/mv.5179>
- Cassiday, L. (2018). Clean Meat. *Inform. International news on facts, oils and related materials*, 29 (2), 6-14. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<http://dx.doi.org/10.21748/inform.02.2018.06>
- Chriki, S., & Hocquette, J. F. (2020). The myth of cultured meat: a review. *Frontiers in nutrition*, 7, 7-16. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007>
- Columba, A. (2023). La mayor fábrica de carne cultivada en laboratorio del mundo estará en España. *ABC*. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<https://www.abc.es/sociedad/mayor-fabrica-carne-cultivada-mundo-espana-20230707200427-nt.html>
- FAO; WHO. (2023). *Food safety aspects of cell-based food*. Rome. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240070943>
- Federación Española de Enfermedades Neuromusculares ASEM. (2003). El músculo esquelético. *Saber & Entender*, 3. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<https://asemgalicia.com/wp-content/uploads/2023/11/El-musculo-esqueletico.pdf>
- Fraeye, I., Kratka, M., Vandeburgh, H., & Thorrez, L. (2020). Sensorial and nutritional aspects of cultured meat in comparison to traditional meat: much to be inferred. *Frontiers in nutrition*, 7, 35. Visto en mayo 2024. Recuperado de:
<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00035>

- Froggatt, A., & Wellesley, L. (2019). Meat Analogues: Considerations for the EU. *Chatham House*, 1-42. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://web.archive.org/web/20190302035443/https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2019-02-18MeatAnalogues3.pdf>
- Gago, R. (2022). La ganadería intensiva en España: aspectos socioeconómicos, legislativos, ambientales y nutricionales. Una reflexión holística desde la salud pública. *Dirección General de Salud Pública. Junta de Castilla y León.*, 74-143. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/download/1207/1154>
- Gisie, L. (2022). La carne in vitro, ¿un nuevo proyecto revolucionario para los animales? *Revista Latino-Americana De Direitos Da Natureza E Dos Animais*, 5(1), 17–35. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://cadernosdoceas.ucsal.br/index.php/rladna/article/view/959>
- Gómez-Luciano, C., Kluwe de Aguiar, L., Vriesekoop, F., & Urbano, B. (2019). Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic. *Food quality and preference*, 78. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103732>
- Grasso, A., Y., H., Olthof, M., Verbeke, W., & Brouwer, I.(2019). Older Consumers' Readiness to Accept Alternative, More Sustainable Protein Sources in the European Union. *Nutrients*; 11(8):1904. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/nu11081904>
- Grimm, D. (2023). ¿ Qué piensan los animales de granja? Investigaciones recientes revelan una sorprendente complejidad en la mente de las cabras, los cerdos y otros animales de ganadería. *Revista General de Derecho Animal y Estudios Interdisciplinarios de Bienestar Animal: Journal of Animal Law & Interdisciplinary Animal Welfare Studies*, (11), 3. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9348777>
- Guadix, J. A., Zugaza, J. L., & Gálvez-Martín, P. (2017). Características, aplicaciones y perspectivas de las células madre mesenquimales en terapia celular. *Medicina*

- clínica*, 148(9), 408-414. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.11.033>
- Guan, X., Lei, Q., Yan, Q., Li, X., Zhou, J., Du, G., & Chen, J. (2021). Trends and ideas in technology, regulation and public acceptance of cultured meat. *Future Foods*, 3. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100032>
- Harari, Y. N. (2018). *Sapiens. De animales a dioses. Breve historia de la humanidad*. Debate.
- Hartmant, C., & Siegrist, M. (2017). Consumer perception and behavior regarding sustainable consumption of proteins: a systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 11-25. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.006>
- Kolkmann, A. M. (2020). Serum-free media for the growth of primary bovine myoblasts. *Cytotechnology*, 72, 111-120. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10616-019-00361-y>
- Krings, V., Dhont, K., & Hodson, G. (2022). Food technology neophobia as a psychological barrier to acceptance. *Food Quality and Preference*, 96. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104409>
- Lanzoni, D. R. (2024). Cultured meat in the European Union Legislative context and food safety issues. *Current Research in Food Science*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100722>
- Linch, J., & Pierrehumbert, R. (2019). Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle. *Front. Sustain. Food Syst.* 3 (5). Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00005>
- Listek, V. (2020). The Cultured Meat Revolution: Singapore and Israel One Step Closer to. *3dprint*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00005>
- Marcela, R. J. (2012). Características biológicas del tejido adiposo: el adipocito como célula endocrina. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(2), 136. Visto en mayo 2024. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(12\)70290-0](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(12)70290-0)

- ONU. (2022). World Population Prospects 2022. Summary of Results. *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://population.un.org/wpp/>
- Rasmussen, M. K., Gold, J., Kaiser, M. W., Moritz, J., Rätty, N., Rønning, S. B., & Young, J. F. (2024). Critical review of cultivated meat from a Nordic perspective. *Trends in Food Science & Technology*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104336>
- Specht, E., Welch, D., Rees Clayton, E., & Lagally, C. (2018). Opportunities for applying biomedical production and manufacturing methods to the development of the clean meat industry. *Biochemical Engineering Journal*, 132, 161-168. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.01.015>
- Spilsbury, M. A. (2016). La ciencia del bienestar animal. La Paradoja del Bienestar Animal. 9. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://bmeditores.mx/wp-content/uploads/2020/05/9-La-paradoja-del-bienestar-animal.pdf>
- Steinfeld, H. G. (2009). La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0701s/a0701s.pdf>
- Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 78, 155-166. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- Szejda, K., Stumpe, M., Raal, L., & Tapscott, C. (2021). South African Consumer Adoption of Plant- Based and Cultivated Meat: A Segmentation Study. *Front. Sustain. Food Syst.* 5. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.744199>
- Tomiyama, A. J., Kawecki, N. S., Rosenfeld, D. L., Jay, J. A., Rajagopal, D., & Rowat, A. C. (2020). Bridging the gap between the science of cultured meat and public perceptions. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 144-152. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.019>

- Treich, N. (2021). Cultured meat: Promises and challenges. *Environmental and Resource Economics*, 79(1), 33-61. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00551-3>
- Tucker, C. (2018). Using environmental imperatives to reduce meat consumption: perspectives from New Zealand, Kōtuitui. *New Zealand Journal of Social Sciences Online*, 13 (1), 99-110. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/1177083X.2018.1452763>
- Tuomisto, H. L. (2019). The eco-friendly burger could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products. *EMBO reports*, 20 (1). Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.15252/embr.201847395>
- Van der Weele, C., & Driessen, C. (2013). Emerging profiles for cultured meat; ethics through and as design. *Animals*, 3 (3), 647-662. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ani3030647>
- Zhang, G., Zhao, X., Li, X., Du, G., Zhou, J., & Chen, J. (2020). Challenges and possibilities for biomanufacturing cultured meat. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 443-450. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.026>
- Zhang, M., Lei, L., & Junfei, B. (2020). Consumer acceptance of cultured meat in urban areas of three cities in China. *Food Control*, 118. Visto en mayo 2024. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107390>

REFERENCIAS LEGISLATIVAS

Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, relativo a los nuevos alimentos, por el que se modifica el Reglamento (UE) n° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan el Reglamento (CE) n° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1852/2001 de la Comisión (DO L 327, de 11 de diciembre de 2015).

Reglamento (CE) n° 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan

procedimientos relativos a la seguridad alimentaria (DO L 31 de 1 de febrero de 2002).

Reglamento (CE) no 1829/2003 del Parlamento Europeo y del consejo, de 22 de septiembre de 2003, sobre alimentos y piensos modificados genéticamente (DO L 268, de 18 de octubre de 2003).

Unión Europea. (2012). Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea.