

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**  
**GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**



“Revisión de la situación actual y perspectivas de desarrollo de la  
carne cultivada *in vitro*”

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Septiembre-2022

**Autora: Mirian Alarcón García**

**Tutor: Juan Miguel Valverde Veracruz**



**Resumen:**

La carne cultivada en laboratorio, también conocida como carne artificial, sintética o *in vitro*, se ha estudiado en los últimos años para abordar la escasez de alimentos debido al crecimiento de la población. Este trabajo analiza y describe el proceso de producción, así como las condiciones ambientales, ganaderas, económicas y culturales. La producción de carne *in vitro* o cultivada requiere una intensa investigación y regulación legislativa antes de que pueda comercializarse en la mayor parte del mundo. En el futuro, la carne cultivada puede convertirse en una parte esencial de la dieta humana, pero a corto plazo, el alto costo del proceso de producción y la falta de aceptación del público, son los principales obstáculos para su viabilidad comercial.

**Palabras clave:**

Carne sintética, células madre, sobrepoblación, medio ambiente, actitud de consumidores.

**Abstract:**

Cultured meat, also known as artificial, synthetic or *in vitro* meat, has been studied in recent years to address food shortages due to population growth. This work analyzes and describes the production process, as well as the environmental, livestock, economic and cultural conditions. The production of *in vitro* or cultured meat requires intense research and legislative regulation before it can be commercialized in most parts of the world. In the future, cultured meat may become an essential part of the human diet, but in the short term, the high cost of the production process and the lack of public acceptance are the main obstacles to its commercial viability.

**Keywords:**

Synthetic meat, stem cells, overpopulation, environment, consumer attitude.

# INDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Importancia de la producción actual de carne a nivel mundial .....	1
1.2. Precios de la carne a nivel mundial.....	2
1.3. Consumo de carne en España .....	2
1.4. Tipos de producción ganaderas.....	4
1.5. Especies de animales para la producción de carne .....	5
1.6. Aspectos nutricionales del consumo de carne .....	6
1.7. Impactos negativos de la producción de la carne.....	7
1.7.1. Aspectos medioambientales.....	7
1.7.2 Consideraciones del bienestar animal .....	7
1.8. Movimiento social y aceptación del consumidor .....	8
1.9. Alternativas de la carne convencional.....	9
1.9.1. Productos sustitutos de la carne a base de plantas .....	10
2. Objetivos.....	11
3. Metodología .....	12
4. Clasificación de la carne artificial.....	13
4.1. Diferencias entre carne convencional y carne artificial (Carne <i>in vitro</i> , OMG y vegetal) .....	14
5. Historia de la carne cultivada.....	16
6. Definición de carne cultivada.....	18
6.1. Legislación de la carne cultivada .....	18
7. Producción de carne cultivada.....	19
7.1. Proceso de producción .....	22
7.1.1. Toma de biopsia .....	22
7.1.2. Elección del tipo de célula.....	22
7.1.3. Medio de cultivo.....	23
7.1.4. Diferenciación .....	24
7.2. Técnicas de producción de carne cultivada .....	24
7.3. Valor nutricional .....	28
7.3.1. Cata por profesionales.....	32
7.3.3.1 Producción del primer chuletón sintético impreso en 3D .....	32
7.4. Beneficios de la carne cultivada .....	32
7.4.1 Aliviar el sufrimiento de los animales .....	33
7.4.2 Salud y seguridad .....	33

<b>7.4.3 Sostenibilidad y medio ambiente</b> .....	34
<b>7.5. Desventajas</b> .....	35
<b>8. Costos de producción y tamaño del mercado</b> .....	37
<b>8.1. Costos de producción</b> .....	37
<b>8.2. Tamaño del mercado</b> .....	38
<b>8.3. Carne cultivada comercializada actualmente en Singapur</b> .....	40
<b>9. Sociedad, retos y perspectivas de futuro</b> .....	40
<b>10. Conclusiones:</b> .....	44
<b>11. Bibliografía:</b> .....	45



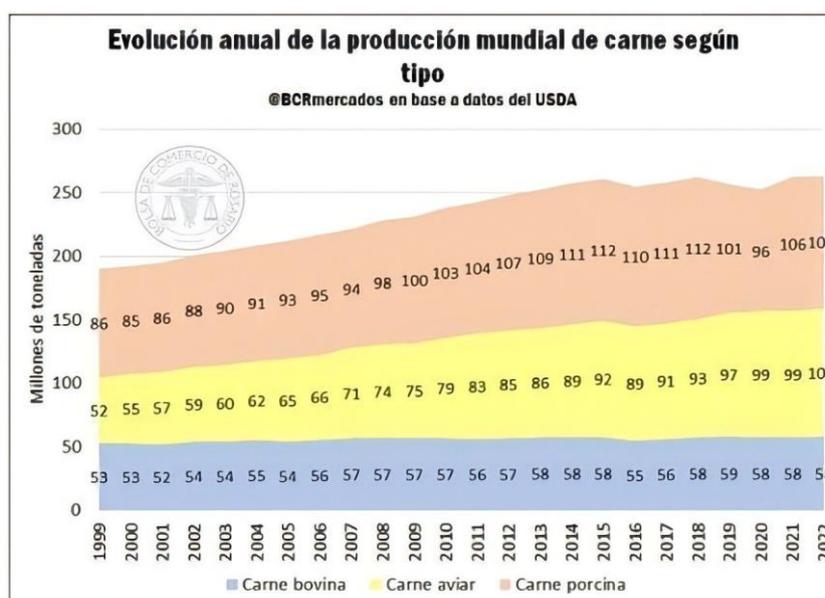
## 1. Introducción

### 1.1 Importancia de la producción actual de carne a nivel mundial

La carne es un producto alimenticio consumido en todo el mundo, y a lo largo de la historia, los seres humanos han basado su alimentación en ella.

A **nivel mundial**, según @BCRMercados en base a datos del USDA y tal como se puede observar en la **Gráfica 1**, en el 2021 la producción de carne ha alcanzado su mejor valor histórico. Dicho valor está conformado por un 22 % de carne bovina (57,7 millones de toneladas), un 37,7 % de carne aviar (99,1 millones de toneladas) y el 40,3 % restante (106,1 millones de toneladas) corresponde a carne porcina. El año anterior que más producción tuvo fue en el 2018 con una producción de 262,5 millones de toneladas. Asimismo, la producción de carne mantendrá su tendencia en el 2022, con 263,2 millones de toneladas producidas, una subida de apenas un 0,1 % con respecto a los años anteriores.

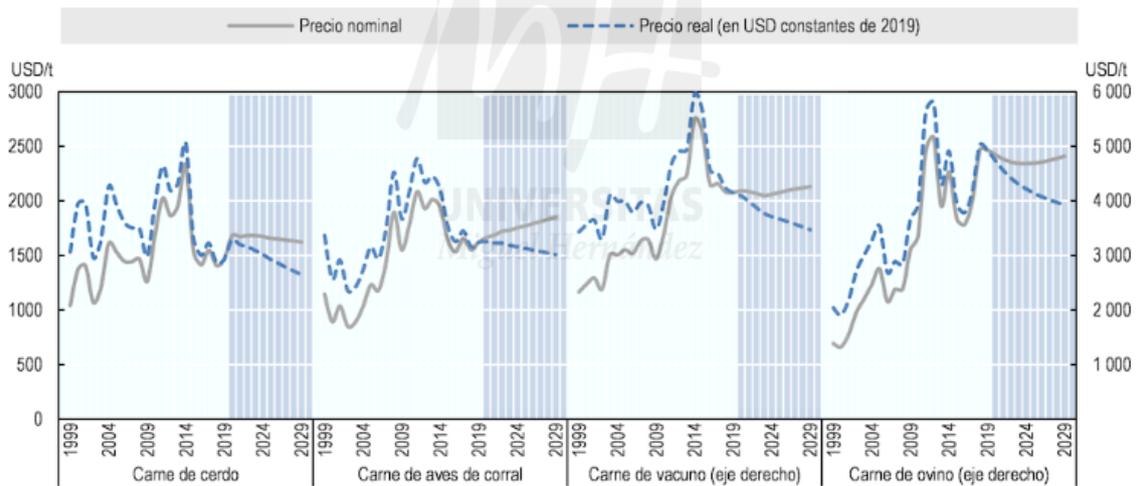
El brote de peste porcina africana fue el responsable de la reducción en la producción de carne de cerdo en el este de Asia, concretamente en China. La producción de carne de bovino también disminuyó en algunos de los principales países productores, debido al número limitado de animales destinados al sacrificio (en Australia, Nueva Zelanda y la Unión Europea) y a las regulaciones asociadas con el bienestar animal, compra y transporte de animales por parte del sector de procesamiento (India).



**Gráfica 1.** Evolución anual de la producción mundial de carne según tipo. **Fuente:** @BRCMercados en base a datos del USDA.

### 1.2. Precios de la carne a nivel mundial

Los precios de la carne se mantendrán altos durante los próximos años, según la OCDE/FAO (2020). Sin embargo, el precio puede variar según el consumo de la carne, la trayectoria real dependerá del tipo de carne y del paso del tiempo. A corto plazo, los precios reales de la carne de res bajarán rápidamente dada la abundante oferta de este tipo de carne de los grandes países productores como Argentina, Brasil y Estados Unidos. Sin embargo, a medida que se reduzcan el número de animales destinados para producir carne y la tasa de crecimiento de la producción se desacelere, se prevé que los precios empezarán a aumentar lentamente. Se estima que los precios de la carne de cerdo disminuyan y los precios de la carne de ave de corral aumenten. Las características que determinan esta tendencia son la mayor oferta de Brasil, la Unión Europea y Estados Unidos y la fuerte demanda de importaciones de China en particular (**Gráfica 2**).



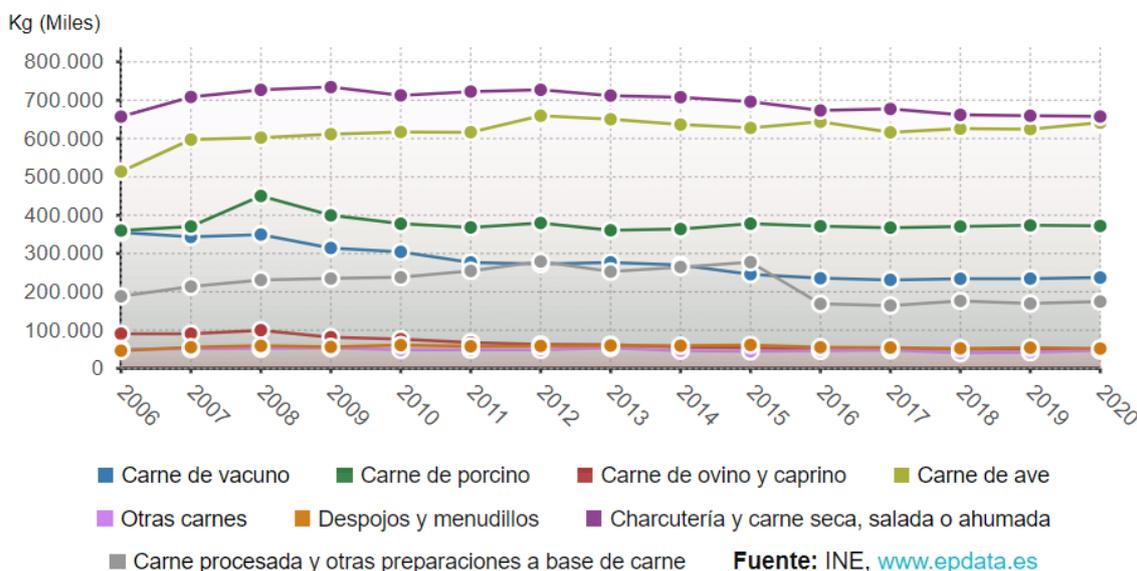
*Nota:* Carne USA cerdo castrado y cerda, base nacional 51-52% magra c.w.e. Brasil: valor unitario de exportación del pollo (f.o.b.) en peso de producto. USA novillo selecto, 5-area c.w.e. directo, total de todos los grados. Precio de la carne de cordero en canal de Nueva Zelanda, c.w.e., promedio de todos los grados.

**Gráfica 2.** Precios mundiales de la carne. Fuente: OCDE/FAO (2020), “OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas”, *Estadísticas de la OCDE sobre agricultura* (base de datos).

### 1.3. Consumo de carne en España

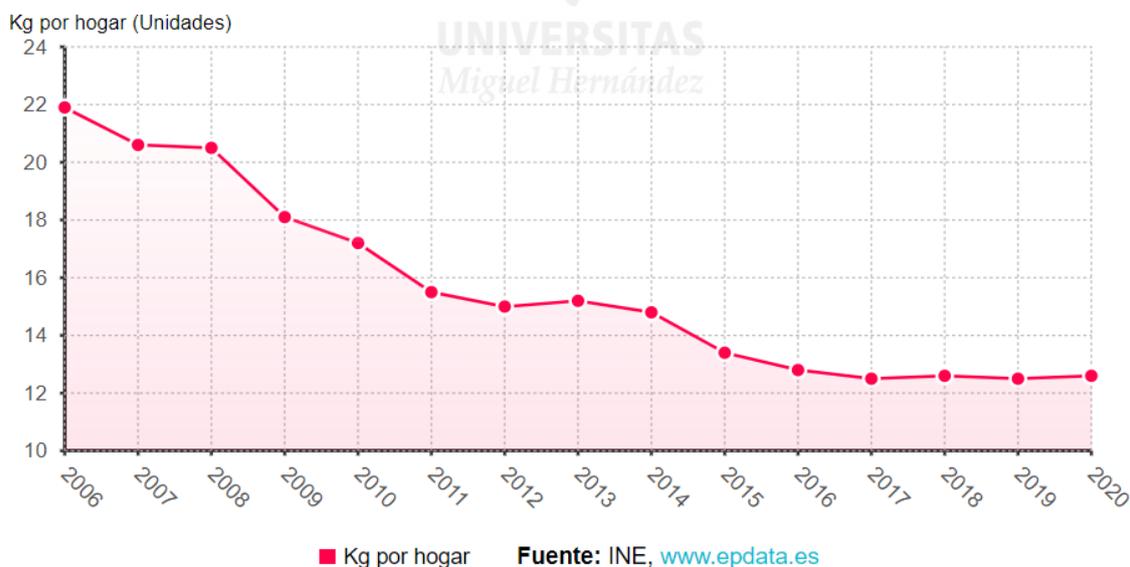
En cuanto al consumo de carne en España, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, cada español consume aproximadamente 50 kilogramos de carne al año. Si se observan los datos de la ONU, este indicador alcanza los 100 kg

por persona al año. Según el Informe de Consumo de Alimentos del MAPA, los españoles están consumiendo 4,62 kg más que el año pasado (**Gráfica 3**).



**Gráfica 3.** Evolución del consumo de carne en España. Fuente: INE, 2021.

Sin embargo, desde 2006, el consumo de carne roja ha disminuido. Según la Encuesta de Presupuestos Familiares del Instituto Estatal de Estadística (INE), su consumo ha disminuido de 22 kg por persona en 2006 a 12,6 kg en 2020 (**Gráfica 4**).



**Gráfica 4.** Evolución de la carne de vacuno consumida por hogar cada año en España.

Fuente: INE, 2021

Las comunidades que más consumen son Castilla León (57,49 kg), Navarra (56,20 kg) y Aragón (55,36 kg). El volumen de producción también ha aumentado: de 7,2 millones de toneladas en 2019 a 7,6 toneladas en 2020.

Según la Asociación Nacional de Industrias de la Carne de España (ANICE, 2021), 99.869 trabajadores trabajan en la industria cárnica.

La industria cárnica supone el 25,2% del total de la industria alimentaria en nuestro país. Esta actividad supuso unos ingresos de 27.959 millones de euros el año pasado (un 2,32% del PIB del país).

#### **1.4. Tipos de producción ganaderas**

El sector ganadero en la actualidad está compuesto por más de 350.000 granjas. El sector porcino tiene 83.360 granjas, el sector vacuno tiene 130.790 instalaciones productivas, el sector ovino cuenta con 113.779 instalaciones y la avicultura tiene 19.070 granjas. En cuanto al tipo de ganaderías se pueden dividir en dos, ganadería intensiva y ganadería extensiva.

**Ganadería Intensiva:** consiste en la industrialización de la explotación ganadera. Para ello, el ganado se encuentra estabulado, bajo unas condiciones creadas de forma artificial, con el objetivo de incrementar la producción de carne en el menor tiempo posible (MAPA, 2017).

En este tipo de ganadería se hacen grandes inversiones en las instalaciones, tecnología, mano de obra, etc. para poder poner en funcionamiento plantas ganaderas de este tipo (MAPA, 2017).

El aumento de la población a nivel mundial ha causado el aumento en el consumo de carne por habitante, y la disminución de los costes de explotación, han hecho que esta industria haya progresado durante estos años (MAPA, 2017).

**Ganadería Extensiva:** utiliza métodos tradicionales de desarrollo ganadero en los cuales imita los ecosistemas naturales para promover el bienestar animal. Su objetivo es utilizar el territorio de forma sostenible. A este tipo de ganadería se le puede añadir un subgrupo de ganadería sostenible, que además mantiene un cierto nivel de producción sin dañar el medio ambiente (MAPA, 2017).

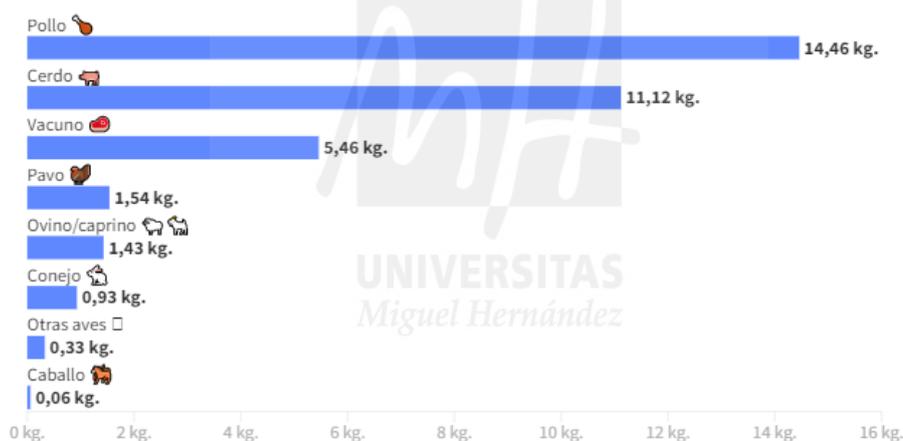
## 1.5. Especies de animales para la producción de carne

En la Unión Europea existen una multitud de especies de animales para el consumo humano. Entre estas especies se encuentran:

- **Carne de vacuno** (*Bos taurus*).
- **Carne de cerdo** (*Sus scrofa domesticus*).
- **Aves de corral** (*Gallus gallus domesticus*).
- **Carne de ovino y caprino** (*Ovis orientalis aries* y *Capra aegagrus hircus*).

Según la **Gráfica 5**, el pollo es el animal más consumido en cuanto a carne fresca en España. De los casi 50 kg consumidos por el español medio en 2020: 36 kg son de carne fresca y 1,28 kg de carne congelada. En ambos casos, la carne de pollo fue la más consumida (MAPA, 2020).

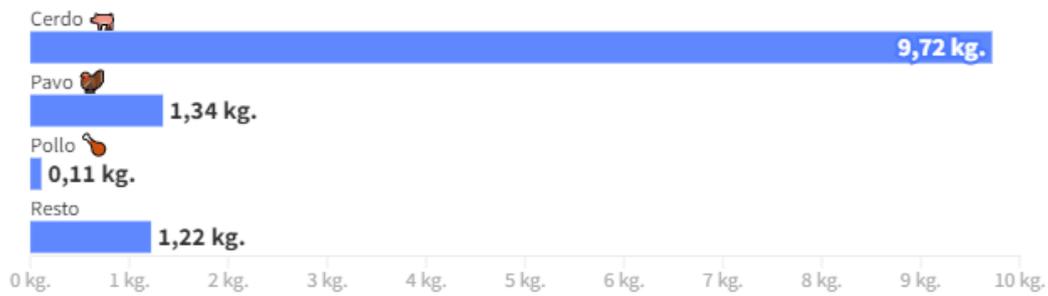
**Carne de cada animal consumida por persona al año en España**



**Gráfica 5.** Carne de cada animal consumida por persona al año en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021).

En la **Gráfica 6** se muestra el consumo de carne procesada en España. Cada 12,39 kg que consume cada español pertenece a este tipo de carne, como bacon o salchichas. Además, el animal más consumido en el territorio es el cerdo: cada español consume una media de 9,72 kg de productos derivados del cerdo al año. De todos los embutidos, el jamón curado es el que más se consume: 2,05 kg por persona al año (Mapa, 2020).

## Carne transformada consumida por persona al año en España



**Gráfica 6.** Carne transformada consumida por persona al año en España. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021).

Sin embargo, dependiendo de la cultura y del país, se consumen otro tipo de animales. Por ejemplo, en China, el perro es un plato muy típico, en Japón es típico comer carne de delfín, en México se consume carne de tortuga y en Camboya es muy típico comer de entrante tarántulas fritas (Monroy, 2002).

### 1.6. Aspectos nutricionales del consumo de carne

La carne es una parte esencial de la dieta humana, y aporta grandes beneficios a la salud:

- Es una de las principales **fuentes de proteína**.
- Aporta **vitamina B12**: es la única fuente donde se encuentra esta vitamina. Una persona en cuya dieta no incluya carne de origen animal, deberá tomar suplementos de vitamina B12 para completar los requerimientos nutricionales.
- Es **fuentes de hierro hemínico**: el hierro es un nutriente necesario para la formación de hemoglobina y su principal función es llevar oxígeno a todas las células del cuerpo. La forma en la que el organismo absorbe y aprovecha mejor este nutriente, es el hierro hemínico.
- Es **rica en zinc**: ayuda a proteger contra el daño oxidativo y a la cicatrización de la piel.

Sin embargo, el elevado consumo de carne, especialmente carne roja y procesada, conduce al desarrollo de enfermedades como la diabetes o las enfermedades cardiovasculares (ECV) debido al colesterol alto, grasas saturadas, sal añadida

(sodio), etc. Aunque estas enfermedades, a menudo, se asocian con adultos mayores, pueden afectar a todos los grupos de edad. También los países de ingresos bajos y medios son vulnerables a estas ECV debido a la economía, ya que los alimentos poco saludables son económicamente más fáciles de adquirir. Por todas estas razones, las recomendaciones dietéticas actuales recomiendan reducir la ingesta de proteína animal y aumentar la ingesta de proteína vegetal (Calvo et al., 2000).

### **1.7. Impactos negativos de la producción de la carne**

Además de que el consumo de carne puede afectar negativamente a la salud, su proceso de producción también puede perjudicar al medioambiente y al bienestar de los animales.

#### **1.7.1. Aspectos medioambientales**

Con respecto al impacto medio ambiental, el sector de la ganadería genera el 9 % del CO<sub>2</sub>, el 65 % de NO y 37 % del metano, lo cuales son los principales gases de efecto invernadero y precursores del calentamiento global; De igual modo, es responsable del 64 % de la producción de amoníaco, que es responsable de la lluvia ácida (Acevedo et al., 2018). Estos gases proceden tanto de las emisiones directas como de las emisiones indirectas. Estas últimas provienen de los modelos agrícolas basados en petróleo y pesticidas y fertilizantes que sustentan la ganadería industrial. El calentamiento global no se puede detener sin cambiar la forma de producir y consumir la carne y otros productos animales. (FAO, 2006).

#### **1.7.2 Consideraciones del bienestar animal**

Todo modelo de cría industrial se basa en un principio básico: criar y sacrificar animales lo más rápido posible bajo cualquier condición para maximizar las ganancias. Esto a menudo significa mantener vacas, cerdos y pollos en granjas con un elevado número de animales sin tener en cuenta su bienestar y creando un ambiente en el cual pueden surgir enfermedades. El apoyo a la agricultura extensiva y ecológica es un modelo que apoya el bienestar de los animales y promueve el equilibrio ecológico.

En materia de bienestar animal, el Consejo de ministros español aprobó el **Real Decreto 695/2022 el 23 de agosto de 2022**, por el que se introducen controles de bienestar animal en los mataderos. La norma se aplica a todos los mataderos de España y obliga a instalar sistemas de videovigilancia. Las cámaras deben colocarse en todos los mataderos, independientemente de su tamaño. El Ministerio de Consumo alegó que la regulación era necesaria para "garantizar el bienestar animal durante la descarga, traslado, estabulación y aturdimiento para mejorar la calidad alimentaria para los consumidores". En los últimos años, varias asociaciones de animales como Equalia en el 2019 y Peta en el 2022, denunciaron malas prácticas en algunos mataderos del país, donde se tomaban videos con cámaras ocultas. Con este Real Decreto, España se convirtió en el primer país de la UE en autorizar el uso de sistemas de videovigilancia para controlar el bienestar animal. Las cámaras deben documentar las áreas donde se mantienen animales vivos, incluidas las áreas de descarga, los pasillos de conducción y las áreas de aturdimiento y sangrado (MAPA, 2022).

### **1.8. Movimiento social y aceptación del consumidor**

La forma de conseguir carne es sacrificando animales, y la alternativa para evitar el sufrimiento y la muerte de ellos son las dietas vegetarianas y veganas.

El gobierno de España se preocupó por el bienestar animal a raíz de las noticias de sufrimiento a las que se sometían los animales en los mataderos, y el ministro de Consumo, Alberto Garzón, realizó una entrevista en la cual motivaba a los españoles a reducir el consumo de carne y a hacer uso de granjas extensivas, ya que estas son más respetuosas con el bienestar animal y con el medio ambiente (MAPA, 2022).

La creciente preocupación por la salud y por el medioambiente, han hecho que se creen movimientos sociales que proponen dietas sin carne. Estas dietas son las vegetarianas y veganas. El consumo de carne supera la ingesta recomendada en algunas regiones, como Europa, donde el consumo de carne per cápita es un 70 % superior (Aschemann-Witzel et al. 2021). En los últimos años ha aumentado el número de personas que reducen su consumo de carne. En España, las personas "flexitarianas" aumentaron un 25 %. Las dietas vegetarianas y veganas bien planificadas son muy saludables y, según la Academia de Nutrición y Dietética,

también ayudan a prevenir y tratar ciertas enfermedades. Las dietas basadas en productos de origen vegetal se asocian con una reducción de varios factores de riesgo, tales como desarrollar enfermedades cardiovasculares, porque son ricas en fibra, proteínas vegetales y antioxidantes. Aquellos que siguieron una dieta flexible también vieron una reducción en los factores de riesgo, y una dieta basada en alimentos de origen vegetal protege contra el desarrollo de diabetes y cáncer. En lugar de seguir una dieta vegetariana estricta, las personas pueden beneficiarse al incluir en su dieta más alimentos de origen vegetal y menos carne de origen animal (Alcorta et al., 2021).

### **1.9. Alternativas de la carne convencional**

Con el paso de los años ha habido una gran expansión de la población, causando así un aumento de la demanda de carne. Según varios estudios de la Comisión Europea, se espera que su consumo siga aumentando (Springer and Duchin, 2014).

Según los datos recogidos por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se prevé que en el año 2050 la demanda de carne se elevará en un 70 % (Gerber et al., 2013) por lo que supondrá un problema de abastecimiento debido a la sobrepoblación. Debido a la sobrepoblación y al problema de abastecimiento, con los recientes avances en ingeniería de tejidos y biología celular surge la producción de carne cultivada *in vitro*, la cual es una alternativa para obtener carne sin necesidad de utilizar animales (Welin, 2013). Esta alternativa implica la extracción de células de un animal a través de una biopsia, y cultivarlas en el laboratorio (Datar and Bettu, 2010).

Las células madre musculares o embrionarias son sumergidas en unos tanques llamados biorreactores los cuales contienen todos los nutrientes necesarios para multiplicarse y diferenciarse en fibras musculares o miofibras. Además, los factores ambientales están controlados: cantidad de oxígeno, temperatura, pH, velocidad de agitación, etc (Bhat et al., 2015; Keefe, 2018; Lee, 2019).

En comparación con la carne convencional, la carne sintética ofrece grandes ventajas que tratan temas sobre bienestar animal, reducción de los impactos medioambientales, sobreexplotación de la tierra y el agua (Bhat et al., 2017; Stephens et al., 2018), debido a que cada célula madre involucrada en la

producción de carne cultivada puede proliferar muchas veces. Por lo tanto, el número de animales necesarios para las muestras de tejido es menor que para la producción de carne convencional. Otras ventajas también son las emisiones de metano, los fertilizantes, los pesticidas, o los combustibles fósiles, los cuales serían menores.

### 1.9.1. Productos sustitutos de la carne a base de plantas

La carne de origen vegetal con las cualidades estéticas (p. ej., textura, sabor y apariencia) y nutritivas de la carne se procesa con ingredientes como gluten de trigo, proteína de soya, champiñones, arroz, legumbres y aditivos saborizantes (Kyriakopoulou et al., 2019). Se intenta mejorar la sostenibilidad del sistema alimentario mediante el uso de la carne de origen vegetal y un menor consumo de otros productos de origen animal (Clark and Tilman, 2017; Godfray et al., 2018).

Varias empresas en Europa y EE.UU. actualmente están produciendo productos cárnicos a base de plantas, como Impossible Burger®, Beyond Burger® y Schnitzel®, que son similares en textura y sabor a la carne (**Imagen 1**).



**Imagen 1:** Empresas de productos de origen vegetal. Fuente: ZHANG, Lang, et al., 2021

En la **Tabla 1** se muestran algunos ejemplos de productos a base de plantas que se pueden sustituir por carne convencional.

**Tabla 1.** Productos alimenticios a base de plantas. Fuente: Mateti et al., 2022.

PRODUCTO	INGREDIENTE PRINCIPAL	EXPLICACIÓN
Quorn	<i>Fusarium venenatum</i> ,	El hongo se fermenta con azúcar y se

	el cual es un hongo que se encuentra en el suelo	centrifuga para obtener la masa comestible.
<b>Carne de soja</b>	Soja texturizada	Se combina la proteína de soja con agua caliente y se introduce en un extrusor. El material se tritura, se calienta y luego se seca.
<b>Tempeh</b>	Fermentado de soja	Se hidrata la soja y se cocina. Posteriormente se le añade levaduras, mohos, varios microorganismos, bacterias Gram-negativas y ácido láctico, aunque el constituyente dominante es <i>Rhizopus oligosporus</i> .
<b>Tofu</b>	Coagulado de bebida de soja	Se coagula bebida de soja con $\text{CaSO}_4$ O $\text{MgCl}_2$ .
<b>Seitán</b>	Gluten de trigo	Se mezcla harina de trigo y agua 80 y 40 (p/p%) para activar el gluten. La mezcla se extruye en láminas para eliminar el almidón, dejando solo el gluten. La lámina se estira, se seca y se tritura hasta obtener el polvo que se va a convertir en seitán.

## 2. Objetivos

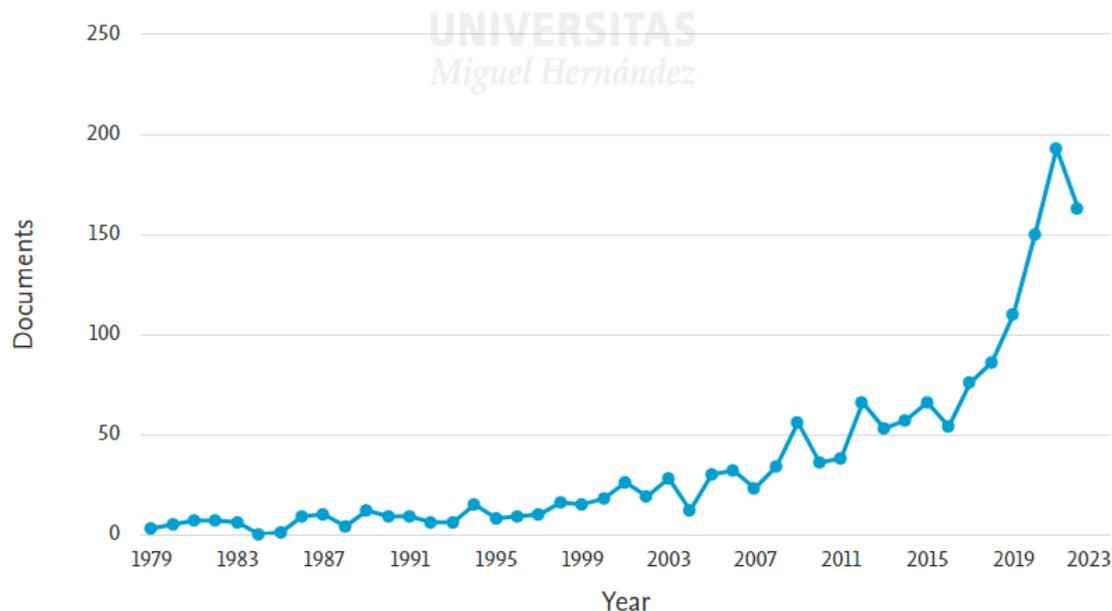
El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado ha sido revisar la situación actual y perspectivas de desarrollo de la carne cultivada *in vitro*. Además, también se recogen una serie de objetivos específicos:

1. Identificar la producción actual de carne *in vitro* y otros productos alimenticios *in vitro*.
2. Definir el concepto de carne cultivada.
3. Semejanzas y diferencias con la carne tradicional.

4. Explicar las diferentes técnicas para la producción de carne cultivada.
5. Conocer las causas que impulsaron la creación de carne cultivada, así como sus pros y contras.
6. Describir las propiedades macro y microscópicas, organolépticas y nutricionales de la carne cultivada.
7. Identificar los problemas con dichos procesos de producción de carne, así como los desafíos técnicos y económicos de la producción en masa.
8. Comprender la opinión y aceptación de los consumidores, así como otras cuestiones culturales o éticas.

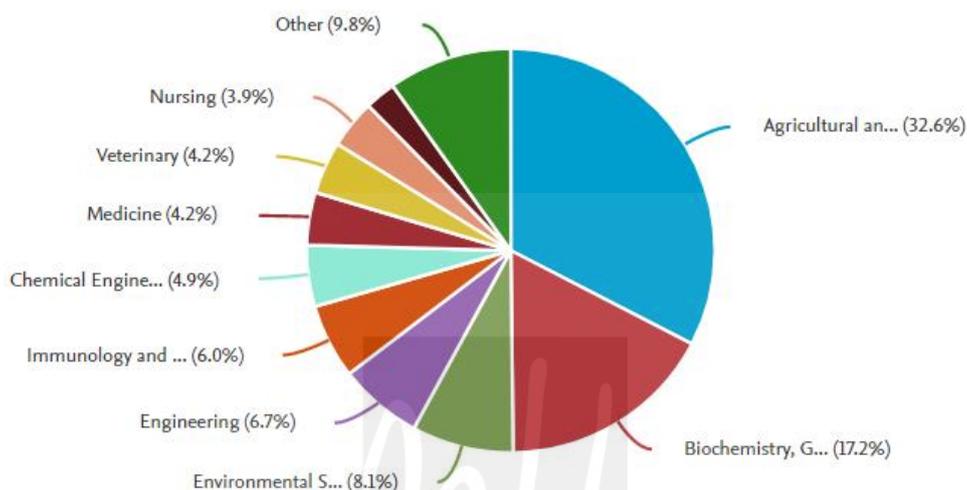
### 3. Metodología

La metodología utilizada para llevar a cabo este tipo de estudio, con el fin de alcanzar los objetivos previamente establecidos, ha sido la revisión bibliográfica. Mediante esta técnica se podrá determinar la información más importante y relevante que fortalezca el contenido de la investigación. Para ello se hace uso de los diferentes buscadores de la web, tales como Google Scholar, Science Direct, Scopus. Además de consultar cualquier literatura y medios audiovisuales o escritos que pueda proporcionar datos relevantes para lograr los objetivos establecidos.



**Gráfica 7.** Representación del número de artículos por año. Fuente: Scopus, septiembre 2022.

En la **Gráfica 7**, se puede observar que hasta la última década no había prácticamente conocimiento de la carne cultivada *in vitro*, es un tema reciente en el cual la cantidad de documentos por años no supera la cifra de 200. Además, se observa una tendencia ascendente, lo que simboliza el creciente interés en la carne cultivada, siendo 2021 el año donde más artículos se han publicado sobre este tema.



**Gráfica 8.** Representación de revistas por área de temática. Fuente: Scopus, septiembre 2022.

En esta **Gráfica 8** se puede observar las diversas revistas que publicaron artículos relacionados con la carne cultivada, desde el 2015 hasta el 2022. Se han encontrado 128 documentos en función del tema de la revista, siendo la de Ciencias Agrícolas y Biológicas, con un total de 93 publicaciones, la que más artículos ha publicado.

Con esta información se puede concluir que la carne cultivada es material de interés creciente y objeto de investigación actual.

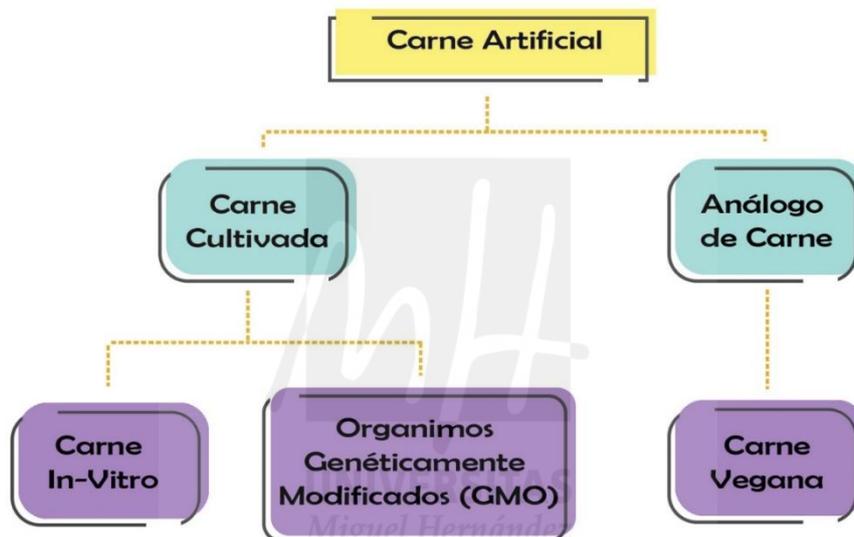
#### 4. Clasificación de la carne artificial

La carne artificial se puede clasificar en 3 conceptos diferentes:

- **Carnes procedentes de extractos de plantas/hongos:** hechos a partir de proteínas no animales
  - o Carne de soja: fabricada a partir de proteínas de origen vegetal.

- o Carne de Quorn: hecha de proteína fúngica o microproteína, es baja en grasas saturadas y no tiene colesterol.

- **Carne cultivada producida mediante ingeniería de tejidos *in vitro***: Se fundamenta en el crecimiento de carne en el laboratorio usando técnicas de ingeniería de tejido en un medio de cultivo (Mateti et al., 2022).
- **Carne derivada de organismos genéticamente modificados** (animales clonados mediante ingeniería genética). Su uso no es solo para alimentación, se emplea en medicamentos, entre otros. Hasta ahora, se han clonado ovejas, cerdos, cabras, vacas y conejos, pero nunca se han consumido (Mateti et al., 2022).



**Diagrama 1:** Clasificación de la carne artificial. Fuente: *Mateti et al., 2022*.

#### 4.1. Diferencias entre carne convencional y carne artificial (Carne *in vitro*, OMG y vegetal)

**Tabla 2.** Diferencias entre carne convencional y carne artificial. Fuente: Mateti et al., (2022).

Carne convencional	Carne artificial
Alto sacrificio animal	Reducción del número de sacrificio de animales

Controles normales de calidad de la carne	Producción bajo estrictos controles de calidad e higiene de la carne
Alto riesgo de exposición a pesticidas	Bajo riesgo de exposición a pesticidas
No sostiene la biodiversidad animal	Sostiene la biodiversidad animal
Elevada producción de residuos	Escasa producción de residuos
Altas huella de agua y de carbono	Baja huella hídrica y de carbono
Baja inversión inicial	Alta inversión inicial
Requiere una gran cantidad de recursos	Requiere recursos mínimos
Producción limitada a la disponibilidad de ganado	No hay limitación
Enfrenta cuestiones éticas y de bienestar animal	Enfrenta problemas regulatorios y de percepción.

**Imagen 2:** Carne convencional



**Fuente:** *Pregón Agropecuario*, 2009

**Imagen 3:** Carne artificial



**Fuente:** Carlos Buxade, 2022

## 5. Historia de la carne cultivada

La carne cultivada para el consumo humano surge en **1932** por Winston Churchill en su ensayo "Fifty Years Hence" (Acevedo et al.,2018; Cassiday, 2018).

El holandés Willem Van Eelen presentó la idea de utilizar el cultivo de tejidos para producir carne cultivada y se le atribuyó una patente sobre la producción industrial de carne en **1991** (Stephens et al., 2015).

En **2002**, la NASA se interesó en la producción de carne cultivada, para así poder alimentar a los astronautas en los viajes de larga duración, por lo que decidió financiar a Morris Benjamison para la realización de este tipo de carne. Este científico logró sacar células de músculo de pez dorado y cultivarlas, logrando filetes de pez dorado que, según expertos catadores, disponían de apariencia y olor idénticos a uno convencional (Stephens et al., 2015; Cassiday, 2018).

En el año **2004** Jason Matheny fundó *New Harvest*, una organización que, desde entonces, promueve la investigación sobre la carne cultivada (L. Zhang et al., 2021).

En **2005**, el Doctor Van Eelen, creó un proyecto que permitió el estudio de células embrionarias, las cuales pueden ser estimuladas para convertirse en células musculares (Cohen, 2011).

En **2008**, Hopkins y Dacey fueron los primeros en establecer los argumentos morales a favor y en contra de la carne cultivada. Mostraron la carne cultivada como una alternativa para las personas que quieren consumir carne pero que no quieren contribuir al sufrimiento animal.

A finales del año **2010**, los fondos monetarios se fueron agotando y un donador anónimo financió el proyecto para la creación de la primera hamburguesa elaborada en un laboratorio (Stephens et al., 2015; Acevedo et al., 2018).

En el año **2011**, el profesor Mark Post de la Universidad de Maastricht publicó que su objetivo era ofrecer una "prueba de principio" para la carne cultivada a través de la tecnología de ingeniería de tejidos existente. Sin embargo, Post estimó que pasarán entre 10 o 20 años antes de que la carne cultivada mediante ingeniería de tejidos esté en el mercado, incluso con una financiación económica generosa. Gabor y Andras Forgacs fundaron una empresa llamada Modern Meadow que tiene

como objetivo fabricar carne y cuero cultivados utilizando tecnología de impresión tridimensional.

El científico holandés Mark Buster, en el año **2012**, sacó la primera carne cultivada artificialmente del mundo.

En **2013**, fue presentada en un restaurante de Londres la primera hamburguesa *in vitro*, cuyo coste fue de más de 330.000 dólares. Fue cocinada por el chef Richard McGowan y testada por el Doctor Mark y los críticos gastronómicos Hanni Ruetzler y Josh Schonwald (Stephens et al., 2015; Acevedo et al., 2018). Tardaron 6 semanas en fabricar esta hamburguesa de 140 gramos, la cual estaba compuesta de unas 20.000 fibras de carne cultivada.

**Imagen 4.** La primera hamburguesa de carne cultivada del mundo se cocinó y probó en vivo en 2013. Fuente: Labiotech.eu, 2022



En **2015** empresas como Memphis Meat (San Francisco, California), Super Meat (Israel) y Mosa Meat (Países Bajos, fundada por Mark Post), se han presentado para servir carne cultivada a la sociedad en los próximos 5 años. En febrero del 2015, el doctor Van Eelen falleció, dejando un gran legado como investigador y promotor de la producción de “carne sin víctimas” (Acevedo et al, 2018).

En noviembre de **2019**, el profesor Zhou de la Universidad Agrícola de Nanjing en China obtuvo la primera pieza de carne cultivada de 5 g mediante el cultivo de células madre de músculo porcino.

A finales de **2020**, “Eat Just” fue la primera empresa en obtener la aprobación reglamentaria para la comercialización de pollo cultivado en Singapur.

En el año **2022** se realizó por primera vez una cata a ciegas por expertos culinarios en la que Michal Ansky (periodista especializada en gastronomía) no supo diferenciar entre pollo convencional y pollo cultivado.

## 6. Definición de carne cultivada

La carne cultivada también conocida como “carne sintética”, “carne limpia”, “carne artificial” o “carne *in vitro*” es aquella que, aportando los medios y las condiciones necesarias en una placa de cultivo, es fabricada a partir de células madre de los animales, sin necesidad de sacrificarlos (Gauna and Perez Filgueira, 2018).

Para producir carne cultivada hay una gama de componentes que deben de ser analizados, como puede ser la estructura de la matriz donde se cultivan las células, la composición del medio de cultivo o garantizar la seguridad alimentaria (Gauna and Perez Filgueira, 2018).

**Imagen 5:** Carne cultivada



**Fuente:** TheFoodTech, 2021

**Imagen 6:** Carne cultivada cocinada



**Fuente:** TheFoodTech, 2021

### 6.1. Legislación de la carne cultivada

**Europa:** El Reglamento (UE) **2283/2015 relativo a los nuevos alimentos es el que regula** la aprobación previa a la comercialización de alimentos producidos a partir de cultivos de células o tejidos animales. En el **artículo 3** se recoge la información para alimentos constituidos, aislados o producidos a partir de cultivos celulares.

Sin embargo, en el caso de utilizar la ingeniería genética en la producción de carne cultivada, se debe aplicar el Reglamento sobre alimentos y piensos modificados genéticamente (**Reglamento (CE) No. 1829/2003**). Las solicitudes bajo las nuevas regulaciones alimentarias deben presentarse a la Comisión Europea y su Dirección General de Salud y Seguridad Alimentaria.

Cuando se comercialicen estos productos alimenticios, deberán cumplir con los requisitos del Reglamento de Información al Consumidor. Es decir, el **Reglamento (UE) n.º 1169/2011 del Parlamento Europeo** y del Consejo, de **25 de octubre de 2011**, regula actualmente la información alimentaria al consumidor.

Cada país tiene sus reglamentaciones en cuanto a los diferentes tipos de alimentos. En este caso, la legislación de la carne cultivada también va a depender de cada país:

**Estados Unidos:** La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) revisa la recolección de células, los bancos celulares y todos los procesos de cultivo, incluido el crecimiento y la diferenciación celular, hasta la "cosecha" en el biorreactor.

Al mismo tiempo, el Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) supervisa el procesamiento y el etiquetado de alimentos derivados de células de ganado y las aves de corral. A pesar de ello, la FDA conserva la jurisdicción sobre productos marinos cultivados.

**Japón:** la carne cultivada, dependiendo del método de producción, está cubierta por el régimen regulatorio actual de Japón y es posible que no requiera una evaluación o aprobación previa a la comercialización.

## **7. Producción de carne cultivada**

La ingeniería de tejidos se encarga de la producción de la carne cultivada, que ha estudiado el comportamiento de las células, las cuales dependen del medio y señales externas para que se puedan diferenciar en células musculares. Se precisan aproximadamente 20.000 hebras de fibras musculares para la creación de una hamburguesa de 110 gramos.

Sin embargo, la producción de carne *in vitro* o cultivada se debe investigar en profundidad y poder hacer eficiente el proceso para que pueda llegar a comercializarse en el mercado. En unos años, la carne cultivada será una parte fundamental de la dieta humana, sin embargo, a corto plazo, el elevado coste de producción y la falta de aceptación social son el principal obstáculo para que su comercialización sea factible.

Los factores para tener en cuenta son los tipos de células que se va a elegir para fabricar carne cultivada y el medio de cultivo.

### **Tipos de células**

Para el cultivo de carne hay diversos tipos de células madre, se clasifican según su **potencialidad** en células madre totipotentes, pluripotentes, multipotentes y unipotentes; y dependiendo de su **lugar de origen** se clasifican en células madre embrionarias (CME), adultas (CMA) o mesenquimales (CMM), y pluripotenciales inducidas (Pimentel-Parra and Murcia-Ordoñez, 2017).

CME: Pluripotentes, tienen la capacidad de producir cualquier clase de célula del cuerpo.

CMA/CMM: multipotenciales y unipotenciales, dan lugar a células adultas del tejido en el que se encuentren, donde su función es preservar y recuperar dicho tejido. Debido a este potencial de regeneración de tejidos, son ampliamente utilizados en medicina regenerativa (ingeniería de tejidos). Las células satélites son las células madre del músculo, que se incluyen en este grupo, y son multipotenciales (Asakura et al., 2001).

Estas células se caracterizan básicamente por su capacidad de autorrenovación y de producir diferentes líneas celulares, también denominada “diferenciación celular”. La preocupación inicial del uso de células madre adultas es su tendencia a la transformación maligna en los cultivos a largo plazo (Gaydhane et al., 2018).

Cultivar células tempranamente, con los medios favorables y estímulos adecuados, hace que sea posible generar células musculares (Grefte et al., 2007).

### **Cultivo celular**

El cultivo celular es un mecanismo *in vitro* que se utiliza para mejorar el conocimiento de la biología celular, la morfología del tejido, la acción de los medicamentos, la producción de las proteínas y el desarrollo de la ingeniería de tejidos (Kapalczyńska et al., 2018).

Para tener una elevada reproductividad experimental, la composición del medio de cultivo es indispensable (Van Der Valk et al., 2010). El objetivo es aumentar el número de células en condiciones artificiales controladas, para en un momento posterior, llegar a la diferenciación de los grupos celulares y que el producto final

sea lo más similar posible al producto deseado (Pandurangan and Kim, 2015; Cartín-Rojas and Ortiz, 2018).

El cultivo se puede dividir en dos fases con distintos objetivos:

- I. La fase de proliferación: el objetivo es maximizar las duplicaciones.
- II. La fase de diferenciación: el objetivo es someter a las miofibras originadas a estímulos eléctricos y mecánicos, con objeto de producir proteínas que caracterizan al tejido muscular y obtener la textura característica de la carne (Bhat and Bhat, 2011; Post, 2012). Estos estímulos también son muy necesarios para realizar la contracción muscular y evitar así la atrofia.

El momento más complicado es diseñar la formulación específica para el medio de cultivo, el cual debe aportar las siguientes características (Datar and Betti, 2010; Kadim et al., 2015):

- Fomentar el crecimiento de las células.
- Ser accesible y estar disponible en considerables cantidades y, por tanto, que no sea muy costoso.
- Ser comestible y con componentes de calidad.
- Ser eficaz y eficiente con relación al crecimiento, proliferación y diferenciación de las células musculares.



**Imagen 7.** Producción de carne cultivada. Fuente: Adaptado a Mateti et al., 2022.

## **7.1. Proceso de producción**

El proceso de producción de carne cultivada se realiza mediante distintas etapas, las cuales son: toma de biopsia, elección del tipo de célula, medio de cultivo y diferenciación.

### **7.1.1. Toma de biopsia**

La toma de biopsia es el primer paso para la obtención de células y se toma del tejido muscular del animal.

### **7.1.2. Elección del tipo de célula**

Los dos principales tipos de células seleccionadas son las células madre embrionarias (CME) y las células satélites. Las CME tienen un potencial regenerativo ilimitado, sin embargo, van acumulando mutaciones genéticas lentamente, por lo que uso a largo plazo no está indicado (Datar and Betti, 2010). Por el contrario, las células satélites, aunque tienen un potencial regenerativo limitado, son la mejor opción para producir mioblastos (Bach et al., 2003; Datar and Betti, 2010).

Las líneas de células madre embrionarias se obtienen a partir del ratón, *mono Rhesus*, de humanos y embriones, lo que produce un rechazo en los consumidores. Esto, unido a la inestabilidad genética y fenotípica, este tipo de células no se usan para la producción de carne cultivada. Las células satélites son las más usadas en la investigación de la carne cultivada, debido a su potencial de diferenciación, ya que se pueden diferenciar en células específicas mediante estimulación química, biológica o mecánica (Post, 2012).

Otras de las células muy importantes para la producción de carne cultivada son las células madre adultas derivadas del tejido adiposo (ADSC). Estas se obtienen de la grasa subcutánea y conforman una población de células multipotentes que se encuentran en este tejido adiposo (Bhat and Fayaz, 2011; Post, 2012; Gimble et al., 2017). Esta importancia es debida a las características organolépticas de la carne, es decir, estas células ofrecen una textura más jugosa, lo que la hace más aceptable para su consumo.

### 7.1.3. Medio de cultivo

Normalmente el cultivo de mioblastos se efectúa en sueros animales, un medio costoso que no es muy aceptado por el consumidor. Esto dificulta su uso a gran escala, utilizando el suero bovino fetal (FBS) como suplemento estándar para el medio de cultivo celular (Benjaminson et al., 2002).

Este suero satisface la mayoría de los requisitos e incluye un gran número de componentes como: factores de crecimiento, proteínas, vitaminas, oligoelementos, hormonas, etc; los cuales permiten el crecimiento y mantenimiento de las células. No obstante, existen diferentes problemas al ser extraído de una fuente “in vivo”, por una parte, está la posibilidad de contener agentes patógenos y, por otro lado, plantea problemas éticos para los consumidores (Van Der Valk et al., 2010).

En el mercado existen diversos sustitutos de suero y medios de cultivo libres de suero, que brindan otras vías para el cultivo celular (Datar and Betti, 2010). Los medios de cultivo sin suero disminuyen tanto el coste de la operación, como la probabilidad de la presencia de estos agentes patógenos (Froud, 1999; Bhat and Bhat, 2011).

Parece ideal desarrollar un medio libre de suero. Sin embargo, las proteínas de origen vegetal pueden crear alergias, siendo así, un factor de riesgo importante para los consumidores. Un ejemplo es el empleo de los hidrolizados de levaduras, arroz o soja. Otros, como los extractos de hongos, se usaron como suero para utilizarlo como medio de cultivo (Benjaminson and Benjaminson, 2002) y se pudo observar que alcanzaron una tasa de crecimiento superior a la del suero bovino fetal, siendo así, más rentable (Gaydhane et al., 2018).

A pesar de que algunos tipos de células tienen la capacidad de conservarse en el medio basal, la mayoría de ellas necesitan suplementos o complementos adicionales para sobrevivir, proliferar y/o diferenciarse (Van Der Valk et al., 2010).

Además, si el valor nutricional de la carne cultivada tiene que ser igual a la de los productos cárnicos convencionales (los cuales tienen una proteína de alto valor biológico), los nutrientes deben suministrarse como complementos y añadirse en el medio de cultivo, ya que las células musculares no son capaces de sintetizarlos. Los componentes más suministrados son los factores de crecimiento, aminoácidos, péptidos, oligoelementos, hormonas (insulina) y, sobre todo, hierro y vitamina B12.

La vitamina B12 es esencial ya que sólo se encuentra en productos de origen animal (Van Der Valk et al., 2010; Kadim et al., 2015; Gaydhane et al., 2018).

Una manera de mejorar la textura, sabor y ternura de la carne es hacer un cultivo con los adipocitos, que son las células de la grasa (Kadim et al., 2015). Estas van a determinar el contenido en grasa saturadas. Pese a que las proteínas contráctiles determinan la mayor parte del contenido de proteína y la calidad del tejido muscular, hay otras que son importantes como la mioglobina, que es una hemoproteína muscular que se encarga de almacenar oxígeno y dar el color rosado característico de la carne convencional (Post, 2012).

Los miocitos (fibras musculares) necesitan el oxígeno para evitar la hipoxia (disminución del oxígeno disponible para las células del organismo) y la acidificación del medio de cultivo con ácido láctico, por lo que es necesario mantener unas condiciones de aerobiosis (Radisic et al., 2008; Datar and Datar, 2010).

#### **7.1.4. Diferenciación**

El objetivo ahora es la diferenciación celular, que requiere estímulos de tipo metabólico, bioquímico y mecánico. Los estímulos mecánicos son importantes porque permiten que se desencadene la síntesis de proteínas y su organización (Pérez, 2017). Tanto el tiempo como la frecuencia de aplicación de los estímulos mecánicos afectan a la diferenciación y proliferación.

Las contracciones regulares son necesarias para que los músculos eviten la atrofia. Los métodos de producción de carne cultivada carecen de los sistemas de los órganos naturales que mantienen la homeostasis en un organismo vivo, por lo que in vitro hay que proporcionar estímulos eléctricos y así desarrollar las fibras musculares maduras (Bach et al., 2004; Datar and Betti, 2010; Kadim et al., 2015; Arshad et al., 2017).

#### **7.2. Técnicas de producción de carne cultivada**

Para producir carne cultivada, hoy en día existen una multitud de técnicas que permiten fabricar carne muy parecida a la carne convencional. Las técnicas más utilizadas se basan en el cultivo celular en matrices o scaffolds, y otras utilizan

el cultivo de tejidos u órganos para formar estructuras más organizadas, formando estructuras tridimensionales o 3D (Bhat et al., 2015).

A continuación, se describen estas técnicas.

Técnica de andamiaje para el cultivo de células basado en matrices 3D, biopolímeros o scaffolds.

#### ❖ **Caracterización:**

Las células no se pueden cultivar en cualquier material, sino que requieren un medio especializado en el que se coloquen biopolímeros o andamios. Estos poseen la característica de ser líquidos al principio, por lo que se necesita de algún molde para que en el momento de solidificar adopte una forma favorable o compatible para el desarrollo de las células. La microestructura de la matriz o molde debe tener surcos en forma de canal que permitan la alineación de células para dar lugar a fibras musculares que al combinarse formarán la carne (Acevedo et al., 2018).

Estos biopolímeros artificiales son biocompatibles y biodegradables y están diseñados para permitir que las células interactúen con su entorno y proporcionen soporte mecánico hasta que formen estructuras estables (Khademhosseini et al., 2006; Gaydhane et al., 2018). Es decir, actúa como una matriz extracelular artificial para aproximar lo más cerca posible a las células y que puedan fusionarse y formar tejidos de forma controlada (Rosso et al., 2004). Debido a su porosidad, los andamios mejoran o facilitan el transporte de oxígeno, nutrientes y residuos (Haycock, 2011). Los más utilizados y eficaces están formados por una mezcla a base de pez, alginato, glicerol y agarosa, con diferentes porcentajes en su composición (Acevedo et al., 2018).

#### ❖ **Técnica:**

La *técnica de andamiaje* consiste en separar los mioblastos embrionarios de animales agrícolas como ganado vacuno, ovino y porcino, y permitirles desarrollarse en un biorreactor estacionario o rotatorio utilizando un medio de crecimiento derivado de plantas, para un sistema de producción de carne cultivada basado en matrices o scaffolds.

Estas células se dividen durante semanas o meses, transformándose en fibras musculares en un andamio dentro del biorreactor. Aún no se ha diseñado ni construido todavía un biorreactor capaz de cultivar carne a gran escala. La creación

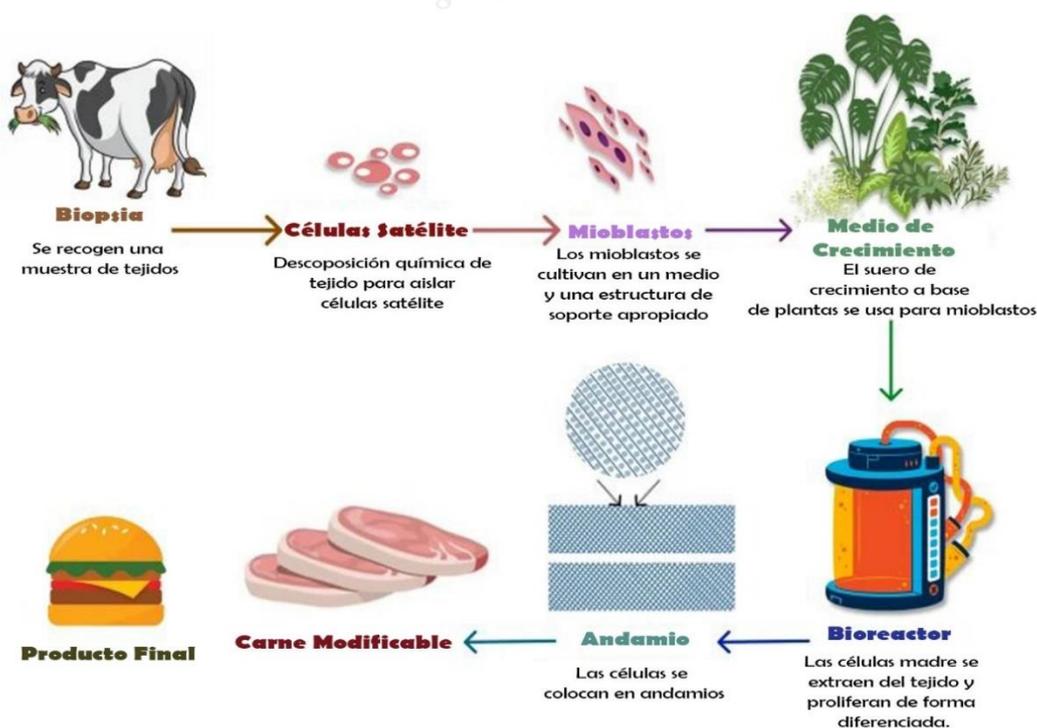
de músculo requiere del uso de un sistema circulatorio para proporcionar nutrientes y oxígeno a las células o fibras en crecimiento mientras se eliminan los desechos metabólicos. Aunque algunas partes del músculo obtienen suficientes nutrientes y oxígeno a través de la difusión, no se han desarrollado músculos cultivados con arterias sanguíneas incorporadas para el suministro de oxígeno y nutrientes.

En esta técnica surgieron 2 propuestas:

- Propuesta de Vladimir Mironov para la NASA (Wolfson, 2002): Los biorreactores se utilizan cuando las células se cultivan con perlas de colágeno para proporcionar una matriz en la que los mioblastos puedan proliferar, fusionarse y diferenciarse.
- Propuesta de Willem Van Eelen (Eelen et al., 1999): utiliza una malla de colágeno a través de la cual se refresca el medio cultivo ocasionalmente (Bhat and Bhat, 2011; Gaydhane et al., 2018).

Esta técnica no puede producir carne muy estructurada como bistecs, pero puede producir carne con una textura suave (Sharma et al., 2015) y puede utilizarse para elaborar productos como carne picada, hamburguesas o salchichas (Bhat et al., 2015).

En la **imagen 8** se describe el esquema de la técnica de andamiaje de la producción de carne cultivada.



**Imagen 8.** Técnica de andamiaje. Fuente: Adaptado a Mateti et al., 2022.

### Técnicas de cultivos para Tejidos/Órganos en 3D:

#### ❖ **Caracterización:**

Se pueden utilizar diferentes técnicas para el cultivo celular sin andamios o matrices, lo que da como resultado estructuras tridimensionales más ordenadas y, por lo tanto, más rígidas. En ausencia de soportes o superficies de acoplamiento, las células se autoensamblan en estructuras esféricas 3D (Benjaminson et al., 2002; Edelman and Edelman, 2005; Bhat et al., 2015).

#### ❖ **Técnicas:**

Se estudian principalmente 2 técnicas para el cultivo de tejidos/Órganos en 3D, las cuales voy a describir a continuación

##### - *Técnica de agitación:*

Funciona al introducir una suspensión de células en un biorreactor giratorio, acercándose entre sí y eventualmente formando agregados, los cuales no pueden adherirse a las paredes del recipiente debido a la agitación continua.



**Imagen 9.** Técnica basada en la agitación. Fuente: Adaptado a INTECHOPEN, 2016.

La técnica utiliza tejido muscular animal explantado. Los explantes son pequeños fragmentos de tejido u órganos adheridos a una superficie sobre la que suelen crecer varias células periféricas (García, 2002). Esta técnica tiene un enfoque más ambicioso para producir carne altamente estructurada (Dennis and Kosnik, 2000).

Es una técnica muy prometedora porque estos fragmentos de músculo contienen todos los tejidos que componen la carne en las proporciones correctas y se asemejan mucho a las condiciones in vivo (Gaydhane et al., 2018). Sin embargo, la falta de circulación hace que el crecimiento sea limitado, esto se debe a que una

separación por encima de 0.5 mm entre las células y los medios cultivo, se produciría necrosis (Dennis and Kosnik, 2000), (Bhat, et al., 2015).

- *Técnica de impresión de órganos:*

El método consiste en colocar capas de células en un gel que actúa como papel de impresión, de modo que las células puedan conectarse para formar estructuras 3D de cualquier forma deseada. Este es un método avanzado y muy prometedor para monitorear la consistencia, la vascularización, la penetración de grasa y otros elementos como el sabor y la apariencia de la carne convencional. La desventaja es que es una técnica costosa y aún en desarrollo (Bhat, et al., 2015; Gaydhane et al., 2018; Stephens et al., 2018). En 2021, Aleph Farms, en colaboración con The Technion, el Instituto de Tecnología de Israel, cultivó con éxito el primer filete de costilla del mundo utilizando bioimpresión 3D. Posee grasa similar a la carne normal y se afirma que es tierna y jugosa. La compañía también afirma que podrá producir cualquier tipo de carne con la tecnología en el futuro.

**Tabla 3.** Ventajas y desventajas de las técnicas de producción de carne cultivada. Fuente: Mateti et al., 2022.

<b>Técnica</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
<b>Andamiaje</b>	Control en cada paso del desarrollo del tejido.	Incapaz de producir carne altamente estructurada.
<b>Agitación</b>	Forma estructuras tridimensionales más organizadas y rígidas.	Técnica con un elevado coste de producción.
<b>Impresión de órganos 3D</b>	Capaz de crear cualquier forma e imitar sensorialmente la carne convencional.	Técnica cara y en fase de desarrollo.

### 7.3. Valor nutricional

Cualquier producto cárnico *in vitro* debe cumplir al menos con el contenido nutricional de la carne convencional para competir en el mercado. Junto con un alto nivel de proteínas y un perfil completo de aminoácidos, la carne convencional tiene

varios elementos beneficiosos adicionales, que incluyen vitaminas, minerales y sustancias bioactivas.

Aún no se dispone de información para evaluar la carne cultivada desde el punto de vista nutricional. Depende de muchos factores, como el tipo de carne que desea obtener, el tipo de células que la componen o la presencia de otros ingredientes necesarios para crear la textura deseada (Roper, 2021).

Muchas preguntas están sin resolver, pero la más importante es si la carne cultivada puede proporcionar los mismos nutrientes que la carne convencional. No hay duda de que la proteína todavía va a estar presente. Sin embargo, la grasa, así como el contenido de minerales y vitaminas, la absorción y la biodisponibilidad son algunas dudas que no se han resuelto todavía.

Por ejemplo, la vitamina B12 es producida exclusivamente por ciertas bacterias colonizadoras del intestino y se encuentra exclusivamente en la carne convencional por lo que, para estar presente en un producto cárnico *in vitro*, sería necesario suministrar vitamina B12 (Keefe, 2018). El hierro es abundante en la carne convencional en forma "hemo", que está presente en la mioglobina y la hemoglobina por lo que sería necesario agregar iones férricos al medio de cultivo para proporcionar hierro de una forma accesible (Davidsson, 2003; Kumar et al., 2010).

**Tabla 4.** Valor nutricional de la carne convencional. Fuente: BEDCA.

	<b>VACUNO</b>	<b>CERDO</b>	<b>POLLO</b>
<b>Energía</b>	138 kcal	165 kcal	110 kcal
<b>Grasa total</b>	5 g	8,5 g	3,4 g
<b>Saturada</b>	1,84 g	3,095 g	1,4 g
<b>Colesterol</b>	90 mg	74 mg	68,3 mg

<b>Proteína</b>	22,9 g	21,9 g	19,5 g
<b>vitamina A</b>	0	5,2 ug	-
<b>Vitamina B12</b>	0.3 ug	0,2 ug	-
<b>Hierro</b>	0.89 ug	3,2 mg	1,5 mg

Como se puede observar en la **Tabla 4**, existen diferencias nutricionales según del tipo de carne que se trate. La carne de vacuno es la que presenta una mayor cantidad de proteínas. Sin embargo, la carne de cerdo presenta una mayor cantidad de hierro. Al igual pasa con la carne de pollo, la cual presenta una menor cantidad de colesterol. Pese a las diferencias nutricionales, todas las carnes son fuentes de proteínas.

La Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC) recomienda comer tres lonchas medianas de carne blanca y un consumo de carne roja "opcional, ocasional y moderado" a la semana. Por lo tanto, se debe reducir la cantidad de carne y proteína en la dieta. No tiene consecuencias nutricionales negativas si se sustituye por otros alimentos con propiedades similares como las de origen vegetal. La carne no es necesaria porque todos los nutrientes que aporta se pueden obtener de otros alimentos (Roper, 2021).

Por el contrario, la carne tiene algunas desventajas nutricionales. Aporta gran cantidad de grasas saturadas en la dieta. Los alimentos que son sustitutos de la carne son mucho más bajos en grasas saturadas (Roper, 2021).

En cuanto a las **características sensoriales** de la carne cultivada:

❖ **Color:**

La carne cultivada presenta un color pálido debido a la ausencia de hemoglobina, la cual es la responsable de otorgar a la carne convencional el color rojo característico. Por lo que para que la carne cultivada presente un color rojizo, se deberá añadir colorantes o mioglobina externa. También se puede mejorar el color

añadiendo jugo de remolacha roja y azafrán (Hopkins and Dacey, 2008; Zaraska, 2013).

❖ **Sabor:**

Cuando la carne se cocina, se generan reacciones complejas inducidas debidas al calor, contribuyendo así a la formación del aroma típico de carne. En la carne convencional, se forma una gran cantidad de precursores durante el metabolismo *post mortem*, pero se desconoce hasta qué punto estos precursores del sabor están presentes en la carne cultivada.

Cuando el proceso de producción de la carne cultivada no produce un sabor satisfactorio, es posible agregar sabores artificiales similares a los sustitutos de la carne a base de plantas que se usan hoy en día, pero esto no se puede saber con certeza hasta que se produzca industrialmente.

Así mismo, es complicado reproducir el sabor de la carne ya que está resulta de una interacción compleja entre proteínas, carbohidratos y fracción lipídica (Hocquette, 2016).

❖ **Textura:**

Al igual que el color y el sabor, también es difícil imitar la textura del músculo, debido a que es el resultado de múltiples características de la carne, incluida la composición del tejido, la arquitectura microscópica y macroscópica del tejido y la capacidad de retener agua y grasa cuando se cocina (Post and Hocquette, 2017).

En la carne convencional, la textura está determinada por la estructura miofibrilar, la cantidad y estructura del tejido conectivo muscular, así como la cantidad y composición de grasa en el músculo. Por tanto, otras células muy importantes para la producción de carne cultivada son las células madre adultas derivadas de tejido adiposo (ADSC), que se encuentran en este tejido adiposo (Bhat and Fayaz, 2011; Post, 2012; Gimble et al., 2017). Es de importancia debido a las características organolépticas de la carne, es decir, estas células ofrecen una textura más jugosa, lo que la hace más aceptable para su consumo.

Puesto que por el tejido no circula sangre, el suministro de nutrientes y oxígeno es limitado y solo se pueden formar unas pocas capas de células usando los métodos de cultivo actualmente disponibles. Para producir trozos de carne más gruesos, se

necesita un sistema de perfusión, que asegure la distribución de nutrientes y de oxígeno a través del tejido (Fraeye et al., 2020).

### **7.3.1. Cata por profesionales**

En el 2022 se realizó una cata de carne cultivada, concretamente, de carne picada de pollo, por varios profesionales, entre los cuales se encuentra Michal Ansky (periodista especializada en gastronomía) y Yair Yosefi (chef, propietario de restaurantes y fundador de Mediterranean Food Lab). Ansky, al finalizar la cata, no supo diferenciar entre la carne convencional y la carne cultivada. Por otra parte, Yosefi notó diferencias entre los diferentes tipos de carne, pero no pudo identificar a qué carne correspondía (Diaz, 2022).

### **7.3.3.1 Producción del primer chuletón sintético impreso en 3D**

En Israel se creó el primer chuletón tridimensional cultivado comestible. Se habían creado antes chuletones, pero ninguno presentaba el olor, sabor, textura y color de un chuletón convencional. La empresa Aleph Forms conjuntamente con Technion-Israel Institute of Technology aseguraron que se pueden realizar diferentes tipos de carne, aromas de maduración y cantidad de grasas, dando la impresión de ser una carne convencional (Kardoudi, 2021).



**Imagen 10.** Primer chuletón sintético impreso en 3D. Fuente: THE FOOD TECH, 2021.

### **7.4. Beneficios de la carne cultivada**

La producción de carne cultivada tiene muchas ventajas como el bienestar animal, la inocuidad alimentaria y la sostenibilidad medio ambiental. Estas ventajas están

relacionadas con los principales problemas que enfrenta la industria ganadera actual y se describen en los siguientes subapartados.

#### **7.4.1 Aliviar el sufrimiento de los animales**

Se reduce el sufrimiento de miles de animales de granja como vacas, cerdos y pollos al no implicar su sacrificio para así satisfacer las necesidades de los consumidores de carne. Además, se satisface las necesidades nutricionales de dichos consumidores (Arshad et al., 2017).

A causa de que las células madre crecen exponencialmente, se pueden usar una pequeña cantidad de animales donantes para la biopsia. Se estima que un rebaño de unas 150 vacas sería suficiente para alimentar a todo el mundo, frente a los 1.500 millones de vacas que hay actualmente en el planeta (Post, 2014). Además, el medio de cultivo se puede realizar a partir de extractos de hongos en lugar de suero animal provocando así una baja participación de animales (Bhat et al., 2015).

#### **7.4.2 Salud y seguridad**

Los sistemas ganaderos que producen carne convencional tienen el peligro de enfermedades, epidemias y un mal uso de antibióticos (Bhat and Bhat, 2011; Webster, 2002). Sin embargo, la carne cultivada utiliza conservantes seguros y moderados, como el benzoato de sodio, para proteger la carne del crecimiento de los microorganismos (Seman et al., 2008).

De igual manera, hay diversos sistemas de monitoreo en línea que analizan la calidad de la carne de cultivo y brindan tecnologías de seguridad alimentaria con baja probabilidad de contaminación bacteriana durante la producción.

La calidad de la carne cultivada se puede mejorar mediante sistemas de cultivo controlado y un procesamiento posterior, como la proporción de composición, contenido de nutrientes y el sabor (Bhat and Bhat, 2011).

Gracias a un estricto control de calidad, se reduce la posibilidad de contaminación de la carne y la aparición de enfermedades de origen alimentario, cosa que en una granja, matadero o plantas frigoríficas (Bhat and Bhat, 2011) no ocurre. Los expertos confirman que patógenos como *Salmonella* o *E. coli* que reside en los intestinos de los animales y se propaga a la carne durante el sacrificio, ya no sería un problema (Cassiday, 2018).

Este tipo de carne también puede reducir la incidencia de enfermedades como la gripe y enfermedades priónicas aviares y porcinas, que han sido asociados con la ganadería (Post, 2012; Cassidy, 2018).

La carne cultivada no sólo produce la disminución de los índices epidemiológicos de morbilidad y mortalidad para algunas zoonosis alimentarias, sino que también disminuye los riesgos de contaminación cruzada al proporcionar un mayor control del proceso productivo y realizarse en biorreactores estériles (Cartín-Rojas and Ortiz, 2018).

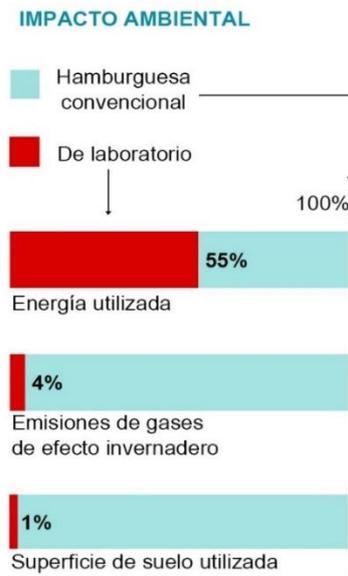
También se reduce de manera significativa los riesgos de exposición a los pesticidas, arsénicos, toxinas como dioxinas y hormonas asociados con la carne convencional, y también a fungicidas, metales pesados, agentes anabólicos, y antibióticos (Bhat and Bath, 2011). Con respecto a esto último, también supone una disminución de las resistencias a los antibióticos de los patógenos debido al mal uso de los mismos.

#### **7.4.3 Sostenibilidad y medio ambiente**

En comparación con el ganado tradicional, el cultivo de carne requiere menos recursos naturales, tierra, agua y produce un porcentaje menor de emisiones de gases de efecto invernadero. El ganado debe estar ubicado físicamente, lo que conduce a la deforestación para el uso de la tierra. Además, debe ser alimentado, lo que requiere el uso de recursos naturales como la hiedra, el heno y el agua (Arshad et al., 2017; Calzada et al., 2019).

La producción de carne convencional requiere áreas de tierra mayores que la producida in vitro. Por tanto, estas zonas pueden aprovecharse para otros fines, como para generar la energía requerida por una planta de producción de carne cultivada (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011).

A pesar de los desafíos técnicos y la aceptación del consumidor en las primeras etapas de desarrollo, como la falta de medios eficientes en costos y recursos. Se cree que el balance energético general favorecerá la carne cultivada en términos de costos indirectos e impactos ambientales (Bhat et al., 2015; Tuomisto, 2019). En general, la carne cultivada puede ser un método de producción de carne sostenible y respetuoso con el medio ambiente que puede facilitar el crecimiento de la población y satisfacer la demanda de carne.



**Imagen 11.** Impacto ambiental. Fuente: Adaptado a la Universidad de Maastricht, 2021.

### 7.5. Desventajas

El costo de la producción de carne cultivada es la limitación más importante para la producción a gran escala, lo que significa que actualmente no puede competir con la producción de carne convencional (Arshad et al., 2017). Este problema solo puede resolverse si se aumentan simultáneamente las tasas de producción y consumo de carne cultivada, ya que este proceso a gran escala puede reducir los costos. Para ello se necesita más inversión e investigación científica (Cartín-Rojas and Ortíz, 2018).

El siguiente problema que existe es la falta de naturalidad, lo que dificulta la aceptación por parte de los consumidores (Welin, 2013). Esto es debido a que se cree que, al ser un alimento artificial, su consumo regular puede afectar la salud. Sin embargo, Hopkins y Dacey argumentan que “no todo es natural, y que sea natural no significa que sea bueno” (Hopkins and Dacey, 2008; Bhat, Kumar and Fayaz, 2015).

Además, muchos grupos extremistas han afirmado que este método de producción también quebranta los derechos de los animales, ya que afirman que, si bien las células son todo lo que se necesita para comenzar la producción, se necesitan animales donantes en la granja (Acevedo et al., 2018).

Otro inconveniente es el aumento de la deficiencia dietética de calcio, vitamina A y B12, así como algunos ácidos grasos importantes para el cuerpo humano, por lo que deben complementarse (Keefe, 2018).

Con respecto al **proceso de producción o fabricación** hay que mencionar varios problemas o limitaciones:

- Un problema común en la ingeniería de tejidos es la falta de vascularización en los cultivos celulares, lo que significa que las células no pueden crecer más allá de cierto volumen. Actualmente, solo se puede formar una capa delgada de miocitos debido a las limitaciones de la difusión pasiva (Bhat and Bhat, 2011). Además, el diseño y los parámetros de funcionamiento de los biorreactores son muy complejos, y no basta con aumentar el tamaño y añadir más sustratos.
- A diferencia de la contaminación microbiana, este es un tipo de producción que implica el riesgo de contaminación del sustrato. Esto se debe a que la contaminación por patógenos es más fácil de controlar en un área de trabajo estéril. Por lo tanto, se requiere un seguimiento y control más estricto del proceso, así como un estricto control de seguridad alimentaria de los sustratos y otros compuestos agregados al medio de cultivo (Welin, 2013).
- El alimento no debe contener sustancias animales, no solo para reducir costos, sino también porque va en contra del objetivo de reemplazar los productos de origen animal (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011).
- Las células musculares necesitan un soporte físico para crecer. En el laboratorio, las placas Petri desechables se utilizan a menudo para el crecimiento de células en una sola capa. Por ejemplo, la hamburguesa de Mark Post antes mencionada se creó apilando manualmente miles de capas de células una encima de la otra, lo que no es posible a nivel industrial (Bhat and Fayaz, 2011; Huh, Hamilton and Ingber, 2011; Bhat, Kumar and Fayaz, 2015; Acevedo et al., 2018).
- Elegir el tipo de célula adecuada: Las células madre embrionarias, a pesar de su infinita capacidad proliferativa, acumulan mutaciones genéticas con el tiempo. Además, las células madre adultas son propensas a la transformación maligna en cultivos a largo plazo. Por lo tanto, estos riesgos

deben ser controlados y saber cuándo se deben recolectar nuevas células (Bach et al., 2003; Datar and Datar, 2010; Post, 2012; Gaydhane et al., 2018).

En ausencia de una agricultura basada en la ganadería, las áreas de tierra afectadas por las actividades humanas disminuirán. Por un lado, esto es bueno para la naturaleza, pero al mismo tiempo conduce a una separación de la naturaleza y los animales (Welin, 2013; Bhat et al., 2015).

La biodiversidad puede perderse porque el pastoreo extensivo preserva diversos hábitats y especies y evita que muchas áreas sean forestadas (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011).

## **8. Costos de producción y tamaño del mercado**

### **8.1. Costos de producción**

El costo de la producción de carne cultivada es una limitación importante para la producción a gran escala, lo que sugiere que actualmente no puede competir con la producción de carne convencional (Arshad et al., 2017). Esto solo se puede solucionar si la producción y el consumo de carne cultivada aumentan simultáneamente, ya que este proceso a gran escala reduce los costos. Esto requiere más inversión e investigación científica (Cartín-Rojas and Ortiz, 2018).

Una vaca necesita alimentarse con 1.33 kilos de proteína para producir 200 gramos de carne, es decir, 7 kilos de cereales con un 19 % en proteína. En comparación con la carne cultivada, se necesitan alrededor de 225 gramos de nutrientes para producir la misma cantidad en el laboratorio. Esto significa que el sistema de producción *in vitro* solo usará nutrientes y energía para el crecimiento y mantenimiento del tejido muscular, lo que significa que se espera que la producción de carne cultivada sea aproximadamente 6 veces más eficiente que la producción de carne convencional. (Arshad et al., 2017; Cassiday, 2018; Bhat et al., 2019).

El tiempo de obtención del producto se ha reducido siendo de varias semanas, en lugar de meses o incluso cerca de dos años en el caso del vacuno, que necesitaría para alcanzar los 420 Kg de peso y producir la misma cantidad de carne. Por tanto, la cantidad de alimento y mano de obra requerida por kilogramo de carne cultivada *in vitro* es mucho menor.

El precio de una hamburguesa de carne de res es de \$1 y se puede hacer en poco tiempo. La primera hamburguesa cultivada en 2013 costó más de \$300,000 y tardó 2 años en desarrollarse (Zaraska and Post, 2013). Desde ese momento, las tecnologías de producción se han desarrollado enormemente para reducir costos y comercializarse en el futuro.

## 8.2. Tamaño del mercado

En el mercado actual, hay diversas empresas dedicadas a la producción de carne cultivada. El mercado global estimado para la carne cultivada será de \$214 millones para el 2025 y \$593 millones para el 2032 (Srutee et al., 2009), con emprendedores que establezcan nuevas empresas de manera progresiva.

En la **Tabla 5** se muestran las empresas más importantes dedicadas a la producción de productos in vitro.

**Tabla 5.** Diferentes empresas dedicadas a la producción de carne cultivada. Fuente: Adaptado a iPES FOOD, 2022.

EMPRESA	AÑO FUNDADA	TÉCNICA	TIPO DE CARNE	LOCALIZACIÓN
Gaia Foods	2019	Tecnología de células madre	Carne de res, cerdo y cordero	Singapur
Bio Tech Foods	2017	Cultivo celular <i>in vitro</i>	Carne de ave	San Sebastián, España
Meatable	2018	Cultivo celular <i>in vitro</i> (sin FBS)	Carne de res y cerdo	Delft, Países Bajos
Mosa Meat	2016	<i>In vitro</i>	Hamburguesa de ternera y carne de res	Maastricht, Países Bajos
Eat Just Inc: Just Egg Good Meat	2011	<i>In vitro</i> (técnica de moldeado e impresión 3D)	Ovoproducto y carne de pollo	San Francisco, California, Estados Unidos
Blue Nalu	2017	Cultivo celular	Productos del mar	San Diego, Estados Unidos

Aleph Farms	2017	Bioimpresión 3D	Carne de res. Fue el primero en crear el primer bistec de carne cultivada	Rejovot, Israel
Wild Type	2016	Cultivo celular	Salmón para sushi	San Francisco, California
Shiok meats	2018	Cultivo celular	Carnes y mariscos	Singapur
Future meats technologies	2018	Cultivo celular	Carne de pollo y está trabajando en kebabs de cordero cultivado y hamburguesas de ternera.	Israel
Upside foods	2015	Cultivo celular en biorreactores	Carne de pollo. Cultivaron la primera albóndiga de ternera del mundo	Berkeley, California, Estados Unidos
SuperMeat	2015	Cultivo celular	Carne de pollo	Tel Aviv-Yafo, Israel

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

Tal es la preocupación por el medioambiente y por el bienestar animal, que una de las personas más multimillonarias ha querido invertir por la producción de carne cultivada.

“Cómo evitar los desastres climáticos” (Editorial Plaza y Janes, 2021) es el título del último libro de Bill Gates, cofundador de Microsoft y presidente del fondo de inversión Breakthrough Energy Ventures. Breakthrough Energy es el nombre de varias organizaciones fundadas por Bill Gates en 2015 para acelerar la innovación en energía sostenible y otras tecnologías para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incluida la promoción del consumo de carne cultivada. La idea de Gates cuenta con el respaldo financiero de importantes inversores, incluidos BlackRock, General Motors, American Airlines, Boston Consulting Group, Bank of America y ArcelorMittal. Además, tiene previsto invertir 50 millones en Impossible

Foods, empresa fundada por el médico y bioquímico Patrick O'Brown, en la cual producen alimentos a base de carne cultivada.

### **8.3. Carne cultivada comercializada actualmente en Singapur**

En diciembre de 2020, la Agencia Alimentaria de Singapur (**SFA**) aprobó la venta de pollo elaborado con ingeniería de tejido, convirtiéndose en el primer país del mundo en autorizar la comercialización de carne cultivada, con el startup californiana "Eat Just". Sin embargo, no es el único país en la actualidad en hacerlo. En Israel, se ha abierto el primer restaurante que sirve carne cultivada, llamado "The Chicken" (SFA, 2021).

Las aprobaciones recientes en Singapur sugieren que la tecnología podría ser comercialmente viable, además, Singapur podría convertirse en un referente para aprobar en EE.UU. y Europa el consumo y comercialización de carne cultivada. El principal inconveniente es que se considera un proceso demasiado costoso (SFA, 2021).

## **9. Sociedad, retos y perspectivas de futuro**

La **sociedad** se enfrenta al reto de producir alimentos suficientes y nutritivos para una población en crecimiento. Hay evidencias de que, dentro de 5 años, los productos cárnicos se comercializarán a precios competitivos, reduciendo la necesidad de utilizar los recursos naturales de la tierra y destinarlos para otros fines (Datar and Betti, 2010; Arshad et al., 2017; Keef, 2018).

Se espera que la producción comercial de carne cultivada reemplace la carne de granja convencional, ya que es segura y no contiene hormonas, microorganismos, toxinas, antibióticos, etc. Además, los ácidos grasos insaturados y los ingredientes funcionales agregados durante la etapa de producción tendrán efectos beneficiosos para la salud (Arshad et al., 2017).

La producción a gran escala requiere una demanda suficiente del producto, lo que significa que los consumidores aceptan la carne cultivada como alternativa a la carne producida de forma convencional (Tuomisto and Roy, 2012). Los estudios de percepción sobre este tipo de carne mostraron que los principales temas están relacionados con la salud, la seguridad, el sabor y el precio (Bryant and Barnett, 2018).

En comparación con los materiales sintéticos, las personas creen que todo lo natural es saludable y seguro (Gaydhane et al., 2018). Los encuestados generalmente estuvieron de acuerdo en que la carne cultivada no es natural, lo que nuevamente generó preocupaciones sobre la naturalidad. Las primeras hamburguesas cultivadas eran de color amarillo-rosado, pero se espera que en un futuro se produzcan carnes con colores más naturales (Post, 2012).

Por lo general, estos estudios muestran que la mayoría de los consumidores están dispuestos a experimentar con carne cultivada, pero una parte pequeña de la población cambiaría su consumo por la carne convencional (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011). Sin embargo, esta tendencia no se puede comprobar, ya que la carne cultivada aún no está disponible en el mercado y la población puede cambiar de opinión (Bonny et al., 2015; Bryant and Barnett, 2018).

Una posible razón de la gran diferencia en la aceptación del consumidor es el término utilizado para describir la carne cultivada, que tiene varios nombres como, "carne *in vitro*", "carne artificial" y "carne sintética" (Verbeke et al., 2015; Wilkes y Philips, 2017). Se puede ver que la terminología utilizada influye en una persona para aceptar o rechazar el producto. Por lo tanto, para aumentar la aceptación de los consumidores, los productores de carne cultivada, los inversores y los defensores han comenzado a utilizar el término "carne limpia".

Los datos recogidos en diversos estudios muestran que la aceptación también es sensible a la cantidad de información, lo que demuestra que cuando los participantes reciben información adicional, su disposición a comprar, probar y pagar carne cultivada aumenta en comparación con cuando solo se dispone de información básica (Verbeke et al., 2015).

La carne cultivada tiene como objetivo utilizar menos animales que en la agricultura convencional. Desde la perspectiva del bienestar animal, esto puede atraer a los veganos y vegetarianos, los cuales no comen carne por razones éticas y morales de bienestar animal (Stephens et al., 2018).

Por otro lado, existe cierto consenso entre los grupos de que la carne cultivada es una alternativa ética y viable y tiene la capacidad de prevenir el hambre en el mundo y reducir el impacto del calentamiento global relacionado con la agricultura.

Sin embargo, también señalaron que esto tendría un impacto negativo en los pequeños agricultores tradicionales (Wilks y Philips, 2017).

Hay una clara paradoja en los resultados, ya que los no consumidores de carne parecen estar menos dispuestos a consumirla, mientras que los consumidores de carne habitual tienen una percepción más positiva (Wilks y Philips, 2017).

Si la tecnología de la carne cultivada no puede imitar la consistencia, la textura y el sabor de la carne convencional mejor que las alternativas de carne de origen vegetal, los consumidores pueden estar menos dispuestos a comprarla. El interés es tan alto que incluso puede resultar difícil competir con ellos. Sin embargo, una dieta basada en productos derivados de plantas también requiere una mayor ingesta calórica para satisfacer las necesidades nutricionales porque los alimentos de origen vegetal no contienen tantos nutrientes como los alimentos de origen animal (Keefe, 2018).

Los **retos** que tiene la producción de carne cultivada son los siguientes:

- Establecer líneas celulares estables y continuar desarrollando sistemas capaces de formar tejidos tridimensionales, creando así medios de cultivo seguros y económicos. El objetivo es encontrar un medio rentable que permita a las células crecer y diferenciarse sin el uso de componentes animales (Bonny et al., 2015).
- Debido a que el tiempo de incubación no es suficiente para desarrollar estructuras de tejido muscular más grandes, el producto final será una masa celular suelta y menos estructurada que se puede usar para procesar productos cárnicos. Sin embargo, si esta tecnología se usara para producir piezas de carne más grandes, se tardaría más en crear, lo que también aumentaría los recursos (Tuomisto, 2019).
- Diseñar, desarrollar y construir biorreactores a nivel industrial (Haagsman et al., 2009; Arshad et al., 2017).
- Autorización de tecnología y supervisión legal (Tuomisto y Teixeira de Mattos, 2011). Debido a la falta de regulaciones, existe mucha confusión y, los propietarios de pequeñas empresas se preocupan por si su carne cultivada en laboratorio está aprobada (Gaydhane et al., 2018).

Como se ha descrito anteriormente, la ganadería presenta diversos aspectos negativos. Sin embargo, presenta algunas virtudes positivas con respecto al medio ambiente:

La producción ganadera, especialmente el pastoreo extensivo, mantiene diferentes hábitats y especies y contribuye así a la biodiversidad. Además, en algunas áreas, la ganadería extensiva hace que las montañas y la tierra no estén cubiertas por bosques para el pastoreo, lo que también es beneficioso en términos de paisaje (Keefe, 2018).

Si la producción de carne cultivada reemplaza un porcentaje significativo de la producción ganadera, los subproductos resultantes (como la producción de cuero o cosméticos o las vacunas) deberán producirse utilizando otras tecnologías alternativas, y esto tiene consecuencias (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011). Investigaciones recientes y actuales reconocen que existe una incertidumbre considerable en la industrialización de esta carne debido a la falta actual de instalaciones para la fabricación de carne cultivada a gran escala (Tuomisto, 2019).

La evaluación del ciclo de vida, conocida como huella ambiental, es un método para evaluar el impacto ambiental potencial de un producto o servicio a lo largo de su proceso de producción, desde la extracción de recursos hasta la gestión de residuos. Tuomisto y Teixeira de Mattos evaluaron el impacto ambiental de la carne cultivada durante 60 días utilizando hidrolizado de cianobacterias como medio principal y un biorreactor de tanque mixto. Los resultados muestran que la carne cultivada tiene emisiones de gases de efecto invernadero, requisitos de tierra y consumo de agua significativamente más bajos en comparación con la producción convencional. El consumo de energía es menor en comparación con la carne vacuna convencional pero mayor en comparación con las aves de corral (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011).

Sin embargo, si se superan todos estos inconvenientes, la carne cultivada puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de la tierra (para la reforestación o el cultivo de diversos productos agrícolas) (Cartín-Rojas and Ortiz, 2018). Sin embargo, la gama de beneficios ambientales dependerá de la disponibilidad de la tecnología en las diferentes partes del mundo y los nuevos usos de la tierra a los cuales irán destinados (Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011; Mattick et al., 2015; Keefe, 2018; Tuomisto, 2019).

## 10. Conclusiones:

A partir del estudio bibliográfico realizado se puede concluir:

1. La creciente demanda de carne obliga a buscar alternativas donde la carne cultivada es una de las mejores opciones ya que es sostenible y es respetuosa con el bienestar animal.
2. Aunque es un producto costoso actualmente y no todos los consumidores están dispuestos a consumirlo, con el tiempo y la demanda este precio se reducirá llegando a ser asequible y formar parte de nuestra dieta.
3. Existe una falta de conciencia pública sobre los problemas ambientales asociados con la producción de carne convencional, tales como emisiones de gases de efecto invernadero, gran demanda de recursos para alimentar al ganado y sacrificio animal.
4. Se necesita regulación e investigación para eliminar la confusión y garantizar el control total del proceso asegurando así la calidad y seguridad nutricional y la confianza del consumidor consiguiendo su inclusión en la dieta.
5. Además, los avances recientes en las técnicas de cultivo de tejidos sugieren que la producción puede ser económicamente factible y ser capaz de recrear cualquier sabor y forma deseada. De todas las técnicas revisadas la bioimpresión en 3D es la que mayor proyección tiene de cara al futuro, ya que puede crear cualquier forma e imitar sensorialmente la carne convencional.
6. Actualmente nos encontramos en las primeras etapas de este sector, y la implementación de esta tecnología requerirá una completa regulación normativa, aceptación del consumidor y el desarrollo de métodos de producción en masa comercialmente viables.

## 11. Bibliografía:

“Aleph farms and the technion reveal world’s first cultivated ribeye steak.”,  
URL: <https://www.prnewswire.com/il/news-releases/aleph-farms-and-the-technion-reveal-worlds-first-cultivated-ribeye-steak-301224800.html>, Date Accessed: 07-03-2022.

A. Hocquette, C. Lambert, C. Siquin, L. Peterloff, Z. Wagner, S.P.F. Bonny, A. Lebert and J.F. Hocquette, *J. Integr. Agric.* 14, 273 (2015)

A. Hocquette, C. Lambert, C. Siquin, L. Peterloff, Z. Wagner, S.P.F. Bonny, A. Lebert and J.F. Hocquette, *J. Integr. Agric.* 14, 273 (2015)

A. Skardal, J. Zhang and G.D. Prestwich, *Biomaterials* 31, 6173 (2010). d

Acevedo, C. A., Orellana, N., Avarias, K., Ortiz, R., Benavente, D., & Prieto, P. (2018). Micropatterning technology to design an edible film for in vitro meat production. *Food and bioprocess technology*, 11(7), 1267-1273.

Alcorta, A., Porta, A., Tárrega, A., Alvarez, M. D., & Vaquero, M. P. (2021). Foods for plant-based diets: Challenges and innovations. *Foods*, 10(2), 293.

Arshad, MS, Javed, M., Sohaib, M., Saeed, F., Imran, A. y Amjad, Z. (2017). Enfoques de ingeniería de tejidos para desarrollar carne cultivada a partir de células: una mini revisión. *Cogent Food & Agriculture* , 3 (1), 1320814.

Asakura, A., Rudnicki, M. A., & Komaki, M. (2001). Muscle satellite cells are multipotential stem cells that exhibit myogenic, osteogenic, and adipogenic differentiation. *Differentiation*, 68(4-5), 245-253.

Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E., & Harris, A. T. (2004). Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 29, 261-299.

Bach, A. D., Beier, J. P., Stern-Staeter, J., & Horch, R. E. (2004). Skeletal muscle tissue engineering. *Journal of cellular and molecular medicine*, 8(4), 413-422.

Bach, A. D., Stern-Straeter, J., Beier, J. P., Bannasch, H., & Stark, G. B. (2003). Engineering of muscle tissue. *Clinics in plastic surgery*, 30(4), 589-599.

Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A., & Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (MPPS): Stage 1, fish. *Acta astronautica*, 51(12), 879-889.

- Benjaminson, M. A., Gilchrist, J. A., & Lorenz, M. (2002). In vitro edible muscle protein production system (MPPS): Stage 1, fish. *Acta astronautica*, 51(12), 879-889.
- Bhat, Z. F., & Fayaz, H. (2011). Prospectus of cultured meat—advancing meat alternatives. *Journal of food science and technology*, 48(2), 125-140.
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 241-248.
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 241-248.
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., Bekhit, A. E. D. A., & 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.
- Bryant C y Dillard C (2019) El impacto del encuadre en la aceptación de la carne cultivada. *Frente. Nutrición* 6:103. doi: 10.3389/fnut.2019.00103
- C. Bryant, K. Szejda, N. Parekh, V. Desphande and B. Tse, *Front. Sustain. Food Syst.* 3, 11 (2019).
- C. Bryant, K. Szejda, N. Parekh, V. Desphande and B. Tse, *Front. Sustain. Food Syst.* 3, 11 (2019).
- Cassiday, L. (2018). Clean meat. *inform*, 29(2), 6-14.
- Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), Article 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
- Cohen, D. (2011) *El filete del futuro no será de vaca, sino de laboratorio – BBC News*
- Datar, I., & Betti, M. (2010). Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 13-22.
- Davidsson, L. (2003). Approaches to improve iron bioavailability from complementary foods. *The Journal of Nutrition*, 133(5), 1560S-1562S.

- Dodson, M. V., Martin, E. L., Brannon, M. A., Mathison, B. A., & McFarland, D. C. (1987). Optimization of bovine satellite cell-derived myotube formation in vitro. *Tissue and Cell*, 19(2), 159-166.
- Edelman, P. D., McFarland, D. C., Mironov, V. A., & Matheny, J. G. (2005). Commentary: In vitro-cultured meat production. *Tissue engineering*, 11(5-6), 659-662.
- Ford, B. J. (2010). Culturing meat for the future: anti-death versus anti-life. *Death and anti-death*, 7, 55-80.
- Fraeye, I., Kratka, M., Vandenburg, 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.
- Freshney, R. Ian and Gordana Vunjak-Novakovic, Culture of cells for tissue engineering. John Wiley & Sons, 2006.
- Froud, S. J. (1999). The development, benefits and disadvantages of serum-free media. *Developments in biological standardization*, 99, 157-166.
- G.A. Bekker, H. Tobi and A.R.H. Fischer, *Appetite* 114, 82 (2017)
- Gauna, D. H., & Perez Filgueira, D. M. (2018). *Carne sintética: 10 Interrogantes en la era de la producción 4.0*. Instituto de Investigación en Prospectiva y Políticas Públicas, CICPES, INTA.
- Gaydhane, M. K., Mahanta, U., Sharma, C. S., Khandelwal, M., & Ramakrishna, S. (2018). Cultured meat: state of the art and future. *Biomanufacturing Reviews*, 3(1), 1-10.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gimble, J. M., Katz, A. J., & Bunnell, B. A. (2017). Adipose-derived stem cells for regenerative medicine. *Circulation research*, 100(9), 1249-1260.
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., et al. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399). <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>. eaam5324

- Grefte, S., Kuijpers-Jagtman, A. M., Torensma, R., & Von den Hoff, J. W. (2007). Skeletal muscle development and regeneration. *Stem cells and development*, 16(5), 857-868.
- Haagsman, H. P., Hellingwerf, K. J., & Roelen, B. A. J. (2009). Production of animal proteins by cell systems. *Utrecht: Faculty of Veterinary Medicine*.
- Hina, B. (2011). Tissue engineered meat-future meat. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2(1), 1-10.
- Hocquette, J. F. (2015). What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry?. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 255-263.
- Hopkins, P. D., & Dacey, A. (2008). Vegetarian meat: Could technology save animals and satisfy meat eaters?. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21(6), 579-596.
- Huh, D., Hamilton, G. A., & Ingber, D. E. (2011). From 3D cell culture to organs-on-chips. *Trends in cell biology*, 21(12), 745-754.
- J.S.H. Seah, S. Singh, L.P. Tan and D. Choudhury, Crit. Rev. Biotechnol. 42, 311 (2021).
- Juan M. Garcia (2002) 'Introducción al cultivo de tejidos' Versión 1.11', p. 32.
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B., & Purchas, R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 222-233.
- Kapałczyńska, M., Kolenda, T., Przybyła, W., Zajączkowska, M., Teresiak, A., Filas, V., ... & Lamperska, K. (2018). 2D and 3D cell cultures—a comparison of different types of cancer cell cultures. *Archives of Medical Science*, 14(4), 910-919.
- Keefe, L. M. (2018). # FakeMeat: How big a deal will animal meat analogs ultimately be? *Animal Frontiers*, 8(3), 30-37.
- Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P., & Becker, K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chemistry*, 120(4), 945-959.
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & van der Goot, A. J. (2019). Plant-based meat analogues. In *Sustainable meat production and processing* (pp. 103–126). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00006-7>.

L. Sha and Y.L. Xiong, Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: science, technology, and challenges. *Trends Food Sci. Technol.* 102, 51 (2020)

Lee, A. (2019) 'The New Frontiers of Flesh Food: Regulating Genetically Engineering Animals and In Vitro Meat', (January).

M. Siegrist and B. Sutterlin, *Appetite* 113, 320 (2017).

M.A. Benjaminson, J.A. Gilchrist and M. Lorenz, *Acta Astronaut.* 51, 879 (2002).

Mateti, T., Laha, A. y Shenoy, P. (2022). Industria de Carne Artificial: Metodología de Producción, Retos y Futuro. *JOM*, 1-17.

Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R., & Genovese, N. J. (2015). Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in the United States. *Environmental science & technology*, 49(19), 11941-11949.

Monroy, P. (2002). *Introducción a la Gastronomía*. Editorial Limusa.

Ortiz, P., & Cartín Rojas, A. (2018). Ventajas y desventajas del cultivo de carne in vitro: perspectivas desde la seguridad alimentaria

Ortiz, P., & Cartín Rojas, A. (2018). Ventajas y desventajas del cultivo de carne in vitro: perspectivas desde la seguridad alimentaria. Bonny, S. P., Gardner, G. E., Pethick, D. W., &

P.D. Hopkins and A. Dacey, Vegetarian meat: could technology save animals and satisfy meat eaters? *J. Agric. Environ. Ethics* 21, 579. (2008)

Pandurangan, M., & Kim, D. H. (2015). A novel approach for in vitro meat production. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(13), 5391-5395.

Pimentel-Parra, G. A., & Murcia-Ordoñez, B. (2017). Células madre, una nueva alternativa médica. *Perinatología y Reproducción Humana*, 31(1), 28-33.

Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat science*, 92(3), 297-301.

Post, M. J. (2014). An alternative animal protein source: cultured beef. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1328(1), 29-33.

R. Srutee, R.S Sowmya and S.A Uday "Clean meat: Techniques for meat production and its upcoming challenges." *Animal Biotechnol.* 1 (2009).

R.G. Dennis and P.E. Kosnik, Excitability and isometric contractile properties of mammalian skeletal muscle constructs engineered in vitro. *Vitr. Cell. Dev. Biol.* 36, 327 (2000).

Radisic, M., Marsano, A., Maidhof, R., Wang, Y., & Vunjak-Novakovic, G. (2008). Cardiac tissue engineering using perfusion bioreactor systems. *Nature protocols*, 3(4), 719-738.

Sharma, S., Thind, S. S., & Kaur, A. (2015). In vitro meat production system: why and how?. *Journal of food science and technology*, 52(12), 7599-7607.

Springer, N. P. and Duchin, F. (2014) 'Feeding Nine Billion People Sustainably: Conserving Land and Water through Shifting Diets and Changes in Technologies', *Environmental Science & Technology*, 48(8). pp. 4444-4451.

Stephens, N. S. (2015). What is in vitro meat? Food phreaking.

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*, 78, 155-166.

Tuomisto, H. L. (2019). The eco-friendly burger: could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?. *EMBO reports*, 20(1), e47395.

Tuomisto, H. L., & Roy, A. G. (2012, October). Could cultured meat reduce environmental impact of agriculture in Europe. In *Proc. 8th Conf. LCA in the Agri-Food sector* (pp. 615-619).

Van Der Valk, J., Kolar, R. and Gstraunthaler, G. (2010) 'Fetal Bovine Serum-free Media and Alternatives The use of FBS in cell culture presents significant issues' (2004), p. 2010.

Van Eelen, W. F., Van Kooten, W. J., & Westerhof, W. (1999). Industrial production of meat from in vitro cell cultures. *World Intellectual Property Organization Patent WO/99/31222*.

W. Verbeke, et al., 'Would you eat cultured meat?': consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Sci.* 102, 49 (2015).

W. Verbeke, P. Sans and E.J. Van Loo, *J. Integr. Agric.* 14, 285 (2015).

Welin, S. (2013). Introducing the new meat. Problems and prospects. *Etikk i praksis-Nordic Journal of Applied Ethics*, (1), 24-37.

Wilks, M., & Phillips, C. J. (2017). Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. *PloS one*, 12(2), e0171904.

Wolfson, W. (2002). Raising the steaks. *New Scientist*, 176(2374-2375), 60-63

Z. F. Bhat, H. Bhat and S. Kumar, "Cultured meat—a humane meat production system," *Princ. Tissue Eng.*, 1369 (2020).

Zhang, G., Zhao, X., Li, X., Du, G., Zhou, J., & Chen, J. (2020). Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 443-450.

Zhang, L., Hu, Y., Badar, I. H., Xia, X., Kong, B., & Chen, Q. (2021). Prospects of artificial meat: Opportunities and challenges around consumer acceptance. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 434-444.

#### **PÁGINAS WEB CONSULTADAS:**

Agencia de Alimentos de Singapur <https://www.sfa.gov.sg/food-information/risk-at-a-glance/safety-of-alternative-protein> Consultada en agosto de 2022

Base de datos BEDCA [www.bedca.net](http://www.bedca.net). Consultada en agosto de 2022

BOE (Boletín Oficial del Estado) [www.boe.es](http://www.boe.es). Consultada en agosto de 2022

Calvo, S., Boticario, C., Martín, F., Hernández, M.J. (2022). UNED, Facultad de Ciencias. Nutrición y Dietética. Guía de Alimentación y Salud. Alimentación en las enfermedades: Cardiovasculares. ISBN 9788436241112. Disponible en <http://www.uned.es/pea-nutricion-y-dietetica-l/guia/> Consultada en agosto 2022

<https://theconversation.com/cual-es-el-interes-nutricional-de-la-carne-artificial-157006> Consultada en agosto de 2022

La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf> . Consulta en agosto de 2022

MAPAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), Servicios de información [www.mapa.gob.es](http://www.mapa.gob.es) Consultada en agosto de 2022

Ropero, A.B. (2021). Asociación The Conversation España.

The Food Tech <https://thefoodtech.com>. Consultada en agosto de 2022