



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
LICENCIATURA EN AGRONEGOCIOS INTERNACIONALES

LOS ALIMENTOS SINTÉTICOS COMO FUENTE POTENCIAL PARA LOS AGRONEGOCIOS EN EL SIGLO XXI

TRABAJO RECEPCIONAL EN LA MODALIDAD DE:

MONOGRAFÍA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN AGRONEGOCIOS INTERNACIONALES

PRESENTA:

MIGUEL JAVIER MARTHEN LIMÓN

ASESOR:

MVZ JOSÉ ALFREDO VILLAGÓMEZ CORTÉS

H. VERACRUZ, VER.

FEBRERO DE 2021

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	IV
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
1. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1.1. ALIMENTOS SINTÉTICOS	3
1.2. CARNE SINTÉTICA	4
1.3. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARNE.....	7
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	12
3.1. OBJETIVO GENERAL	12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
4. METODOLOGÍA	13
4.1. TIPO DE ESTUDIO	13
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	13
5. ASPECTOS TÉCNICOS DEL DESARROLLO DE LA CARNE SINTÉTICA.....	15
5.1. COMPOSICIÓN DE LA CARNE	16
5.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CARNE CULTIVADA	16
5.3. CARNE, MÚSCULO Y CULTIVO DE MIOCITOS <i>IN VITRO</i>	18
5.3.1. TIPOS DE CÉLULAS PARA CULTIVO DE CARNE	19
5.3.2. CELULAS MADRE EMBRIONARIAS.....	19
5.3.3. CÉLULAS MIOSATÉLITALES.....	20
5.3.4. CÉLULAS MADRE ADULTAS.....	20
5.3.5. TÉCNICA DE AUTO-ORGANIZACIÓN.....	20
5.4. TÉCNICA DE ANDAMIAJE	21

5.5. MÉTODOS DE CULTIVO SIN SUERO	23
6. POSIBLES BENEFICIOS DE LA CARNE CULTIVADA.....	26
6.1. ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LA NUTRICIÓN	26
6.2. PATÓGENOS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS CARNES	26
6.3. USO INEFICIENTE DE RECURSOS	28
6.4. CONTAMINACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO	29
6.5. UTILIZACIÓN DE ANIMALES DE GRANJA.....	31
7. RIESGOS PARA LA SALUD DE LA CARNE SINTÉTICA.....	33
8. PERCEPCIÓN Y ACEPTACIÓN DE LOS CONSUMIDORES	36
9. ASPECTOS ÉTICOS Y LEGALES	46
9.1. BIENESTAR ANIMAL Y PREOCUPACIONES ÉTICAS	46
9.2. SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE	49
9.3. EL COSTO DE LA CARNE SINTÉTICA	50
9.4. LEGISLACIÓN Y REGULACIONES.....	52
10. PAPEL POTENCIAL DEL LICENCIADO EN AGRONEGOCIOS INTERNACIONALES.....	56
CONCLUSIONES.....	58
LITERATURA CITADA.....	59

AGRADECIMIENTOS

Quiero brindar el primer agradecimiento a mis padres Javier y Nayeli que con mucho esfuerzo, trabajo y tiempo me han dado la oportunidad de llegar hasta donde estoy en este momento, superando las situaciones de tempestad sin darse la oportunidad de rendirse un solo momento, por brindarme sus consejos, y orientaciones ya que, gracias a sus regaños, hoy puedo cumplir mi primer logro como persona en la vida de antemano hoy sé que su esfuerzo no es ni será en vano.

A Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento con salud y en compañía de los seres que amo, por guiarme y protegerme ante cualquier circunstancia y darme la fortaleza de seguir adelante, poniendo en el camino de mi vida a las personas correctas para hacer esto posible.

Agradezco a mis hermanos Gael y Agustín ellos siempre han sido la principal razón por la cual he querido superarme sabiendo que como hermano mayor mi compromiso es brindarles siempre mi apoyo y amor incondicional.

Agradezco a mi novia Esmeralda por estar conmigo ante cualquier circunstancia brindándome cariño y a pesar de mis acciones siempre confiar en mí y apoyarme tanto física como emocionalmente.

A mis familiares que siempre estuvieron al pendiente y tuvieron la confianza y esperanza de que un día cumpliría esta meta.

A mis amigos que estuvieron para apoyarme en las buenas y en las malas y nunca me fallaron, me sirvieron como soporte y me brindaron muchas sonrisas Nicolás Blanco, Uriel Jiménez, Manuel Guerrero y Daniel Tenchipe.

A mi asesor el Dr. José Alfredo Villagómez Cortes por darme la oportunidad de apoyarme con su sabiduría y guiarme en la forja y fortalecimiento de mi trabajo, por tener la grandísima tolerancia y tiempo para cumplir este objetivo que es mi trabajo recepcional.

DEDICATORIAS

Quiero dedicarme principalmente este logro debido a que no es fácil llegar hasta este momento hace falta de mucha fuerza en diferentes aspectos, como el no perder la esperanza de triunfar en lo que un día se veía muy lejos, contener y aguantar el distanciamiento de la familia, saber aguantar los momentos de soledad y nostalgia en algunas noches, pero todas son pruebas de la vida y esta es la gran recompensa y bendición para mí y mi familia.

A mis padres por educarme y darme los principios que hoy como profesionista tengo, por brindarme siempre el apoyo económico, el amor, los consejos y esa cercanía a pesar de la distancia, gracias por siempre impulsarme y no dejarme caer, tener fe en mí. Si no fuese por ustedes la vivencia de este momento sería imposible, estaré eternamente endeudado y agradecido con ustedes los amo.

A mis hermanos que pueden ver como su hermano mayor el día de hoy se convierte en una persona estudiada y con la esperanza de que ellos en un futuro tomen este ejemplo y puedan triunfar en sus vidas.

Quiero darle una fuerte dedicatoria a mi abuelo Miguel Limón López que fue una de las personas que más estuvo en espera de este momento, que con sus historias, sus experiencias siempre me guio y no me dejó tirar la toalla, siendo un factor muy importante para mí darle la oportunidad de verme titularme, siendo su primer nieto varón en cumplir lo que él considera un sueño tanto como para él como para mí, gracias por brindarme siempre sus consejos y nunca perder esa seguridad sobre su nieto, lo quiero mucho.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ingredientes utilizados durante la fabricación de análogos de carne de origen vegetal.....	4
--	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.. Reconstrucción de la argumentación de los innovadores.	9
Figura 2. Proceso de producción de carne cultivada.....	17
Figura 3. Producción de carne in vitro basada en andamios.....	22

RESUMEN

Marthen Limón, Miguel Javier. (2021). Los alimentos sintéticos como fuente potencial en los Agronegocios en el siglo XXI. Monografía de Licenciatura en Agronegocios Internacionales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. Veracruz, Ver. Asesor: M.V.Z. José Alfredo Villagómez-Cortés.

El presente trabajo se realizó con el propósito de analizar la producción de alimentos sintéticos, su viabilidad y mercado, para poder definir su potencial dentro de los agronegocios en el siglo XXI. La investigación se realizó en dos etapas. La primera etapa fue de carácter documental y consistió en la búsqueda de información sobre el tema de interés mediante la indagación en diversas fuentes de material bibliográfico. La segunda etapa de la investigación fue de gabinete, para lo cual se organizaron los datos obtenidos en una secuencia lógica y el todo el material colectado se clasificó en grandes categorías que se constituyeron en los capítulos de la monografía: aspectos técnicos del desarrollo de la carne sintética, posibles beneficios de la carne cultivada, riesgos para la salud de la carne sintética, percepción y aceptación de los consumidores y aspectos éticos y legales. El exceso de población humana esboza un futuro de hambre e inseguridad alimentaria asociados con un aumento previsto de la demanda de proteína animal, en paralelo al crecimiento de la población para 2050. Se anticipa que tanto la industria cárnica tradicional como el sector agrícola se verán fuertemente presionados para buscar técnicas alternativas de producción animal. En este sentido, la producción de carne *in vitro* se percibe como una posible línea futura de investigación que podría permitir satisfacer la demanda incremental por alimento de la humanidad, al tiempo que permite a los consumidores eludir los problemas éticos y ambientales asociados con el consumo de carne, así como las consideraciones éticas en relación con el bienestar de los animales. De manera adicional, se posibilita la reducción de la contaminación asociada con la producción animal, la ocupación de tierras para la cría de ganado y el largo proceso de desarrollo para la producción de los mismos. Un desafío para la carne cultivada es imitar la carne tradicional en términos de calidad sensorial a un precio asequible para que sea aceptable para los futuros consumidores. Sin embargo, más allá de estos aspectos tecnológicos y económicos, la carne artificial debe convencer a los ciudadanos y consumidores de que puede aportar tanto beneficios personales (sabor, seguridad, salubridad) como beneficios sociales (seguridad alimentaria, no degradación ambiental, mejor bienestar animal, etc.) y en este momento, esto es incierto. Se concluye que, en el corto plazo, la participación de los profesionales de los agronegocios en la producción y comercialización de alimentos sintéticos será escasa, pues aún restan varios aspectos técnicos por resolver para producir carne sintética a escala industrial, pero es posible que antes de concluir el siglo adquiera viabilidad y sea una realidad, y entonces los profesionales de los agronegocios podrían jugar un papel relevante.

Palabras clave: biotecnología, carne sintética, carne *in vitro*, carne de células madre, carne artificial, ingeniería de tejidos, producción artificial.

ABSTRACT

Marthen-Limón, Miguel Javier. (2021). Synthetic foods as a potential source for Agribusiness in the XXI century. Bachelor Degree Monograph in International Agribusiness. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University of Veracruz. Veracruz, Mexico. Advisor: Dr. José Alfredo Villagómez-Cortés.

This study was carried out with the purpose of analyzing synthetic food production, its viability and marketability, in order to define its potential for agribusiness in the 21st century. The study was carried out in two stages. The first stage was documentary in nature and consisted of searching information on the topic from various sources of bibliographic material. The second stage was in the office, for which the data obtained were organized in a logical sequence and all the collected material was classified into large categories that were the chapters of the monograph: technical aspects of meat development, synthetic meat, possible benefits of cultured meat, health risks of synthetic meat, consumer perception and acceptance, and ethical and legal aspects. Excessive human population precludes a future of hunger and food insecurity associated with an anticipated increase in demand for animal protein, and paralleling population growth by 2050. Both the traditional meat industry and the agricultural sector are anticipated to be on the spotlight, pressed to seek alternative animal production techniques. In this sense, *in vitro* meat production is perceived as a possible future line of research that could satisfy humanity's incremental demand for food, while allowing consumers to avoid the ethical and environmental problems associated with the consumption of meat, as well as ethical considerations in relation to animal welfare. Additionally, it makes possible the reduction of pollution associated with animal production, the occupation of land for raising livestock and the long periods required for yield production. A challenge for cultured meat is to mimic traditional meat in terms of sensory quality at an affordable price to make it acceptable to future consumers. However, beyond these technological and economic aspects, artificial meat must convince citizens and consumers that it can provide both personal benefits (taste, safety, health) and social benefits (food safety, no environmental degradation, and better animal welfare) and at this time, this is uncertain. It is concluded that, in the short term, the participation of agribusiness professionals in the production and commercialization of synthetic foods will be scarce, since there are still several technical aspects to be solved to produce synthetic meat on an industrial scale, but it is possible that before ending the century the technology will provide viable artificial meat, and then the agribusiness professionals could play a relevant role.

Keywords: biotechnology, synthetic meat, *in vitro* meat, stem cell meat, artificial meat, tissue engineering, artificial production.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con estimaciones de FAO (2009), para 2050 la población mundial superará los 9,100 millones, un tercio más que en la actualidad. Alrededor del 70 % de la población mundial será urbana, y la mayor proporción de todo ese aumento ocurrirá en países en desarrollo. Para alimentar a esta población, la producción de alimentos debe aumentar en un 70 %. La producción anual de cereales debe pasar de 2,100 millones en la actualidad a cerca de 3,000 millones de toneladas y la producción anual de carne debe aumentar en más de 200 millones de toneladas para aproximarse a los 500 millones de toneladas. El asegurar una buena calidad de vida en términos de alimentación, educación y otros servicios necesarios para esa población futura es sin duda un reto mayúsculo. Se necesitan producir alimentos en cantidad y calidad suficiente para abastecer la demanda, sin dañar en lo posible los ya escasos recursos naturales, lo cual implica la posibilidad de recurrir a formas alternativas de producción.

La producción de alimentos se encuentra entre las actividades de mayor impacto ambiental humano, de modo que el aumento en la demanda de alimentos proyectada también resultará en un aumento en los impactos asociados. De hecho la producción de carne es la actividad con mayor impacto en la producción de alimentos (Steinfeld *et al.*, 2006). Al considerar el crecimiento de la población mundial, Edelman *et al.* (2005) estiman que la producción de carne convencional puede ser capaz de alimentar a una población de 9 mil millones, pero a un alto costo, por lo que las opciones más viables son reducir el consumo de carne o el adoptar sistemas alternativos de cría de animales.

El comprender los costos ambientales y económicos de la producción de la carne convencional llevó al desarrollo de análogos de la carne, a su producción y a su introducción exitosa en el mercado. Aunque el concepto de “análogo de la carne” está de moda, en realidad no es nuevo. Los sustitutos de la carne más conocidos y exitosos se basan en material vegetal (soya, chícharos, frijol de lupino o altramueses,

arroz), proteínas de origen animal (leche, insectos, cultivos en laboratorio), algas y micoproteínas (Smetana *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2020; Riya, 2020; Sun *et al.*, 2020).)

El producir músculo animal comestible (es decir, carne) utilizando técnicas de ingeniería de tejidos *in vitro* sin involucrar animales es una alternativa novedosa y poco explorada que posee algunas ventajas sobre la carne convencional, y la tecnología necesaria para producirla se encuentra ya disponible. Esta biofabricación de productos vivos complejos mediante el uso de diversas técnicas de bioingeniería es una solución potencial para reducir los efectos nocivos de los sistemas actuales de producción de carne al reducir la contaminación ambiental, puede transformar drásticamente la agricultura tradicional basada en animales al inventar carne y productos cárnicos "libres de animales" y proporcionar carne químicamente segura y libre de enfermedades transmisibles al ser humano (Bhat *et al.*, 2017).

La creciente importancia de los análogos de la carne en la tendencia actual se debe a la conciencia de salud entre los consumidores en su dieta y para un mejor ambiente futuro. Los factores que conducen a este cambio se deben a la ingesta de alimentos bajos en grasas y calorías, las enfermedades animales, el agotamiento de los recursos naturales y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. Actualmente, los productos análogos de carne comercializados disponibles son carne de origen vegetal en la que la calidad (es decir, textura y sabor) es similar a la carne convencional (Bakara y Sihotang, 2019; Kovács *et al.*, 2019; Ismail *et al.*, 2020).

El uso de carne sintética puede no estar tan lejos como muchos suponen. A fines de 2020 Singapur aprobó una regulación para la primera "carne limpia" del mundo que no proviene de animales sacrificados. Esta decisión permitirá que *Eat Just*, una empresa con sede en San Francisco, pueda vender a la brevedad a los restaurantes de Singapur carne de pollo cultivada en laboratorio (Oi, 2020). En virtud de todo lo anterior, el presente estudio busca hacer una revisión de la literatura existente sobre la producción sintética de carne y examinar su potencial como un agronegocio.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. ALIMENTOS SINTÉTICOS

De acuerdo con la FDA (2018), el término "natural" se puede utilizar cuando la sustancia deriva de plantas, animales o fermentación, el compuesto "natural" también se puede procesar y tener algunos aditivos sintéticos antes de que se ponga en el producto alimenticio. A menudo se piensa que lo natural siempre es mejor porque la "falacia naturalista" hace pensar que los artículos sintéticos son peligrosos y la "versión falsa" de los alimentos sintéticos nunca serán 100% iguales a los alimentos naturales. Es cierto que los artículos sintéticos nunca serán iguales a los naturales, sin embargo, lo cierto es que los sintéticos no siempre son malos y, en ocasiones, incluso puede ser mejor para la gente consumirlos porque son más personalizables. En forma adicional, la mayoría de los alimentos contienen compuestos sintéticos. Lo natural no siempre es mejor porque no todo lo que proviene de la naturaleza es seguro/bueno (Wangsa *et al.*, 2019). En contraposición a un "alimento natural", un "alimento sintético" es todo aquel que no proviene de una fuente natural y se ha desarrollado a partir de sustancias alimenticias sintetizadas químicamente. También se les conoce como alimentos artificiales, pues son alimentos que por lo general imitan la apariencia, el olor y el sabor de los alimentos naturales y se suelen usar químicos para potenciar, saborizar, mejorar, colorear, estabilizar o espesar.

Los alimentos sintéticos son productos consistentes de alimentos comunes y/o fórmulas químicas que pueden ser usados en lugar de los alimentos que imitan. A menudo los consumidores los usados por razones de salud o económicas (National Agricultural Thesaurus and Glossary, n.d.). El término "sintético" tiende a poseer una connotación negativa en nuestro mundo moderno ya que el boom de lo natural está siendo sobrevalorado actualmente, ya que cada vez más personas buscan nutrirse y cuidarse con productos que tienen un origen natural. El Cuadro 1 condensa los ingredientes que se utilizan durante la fabricación de análogos de carne de origen vegetal.

Cuadro 1. Ingredientes utilizados durante la fabricación de análogos de carne de origen vegetal.

Ingrediente utilizado durante la fabricación de análogos de carne de origen vegetal		
Ingrediente	Propósito	Nivel de uso (%)
Agua	Distribución de ingredientes Emulsificación, jugosidad, reducción de costo	50 - 80
Proteínas vegetales texturizadas	Aqua, textura / nutrición de proteínas Apariencia; fortificación / nutrición de proteínas Fuente de fibra insoluble	10 - 25
Proteínas sin textura	Agua, emulsificación Textura / sensación en boca Fortificación / nutrición de proteínas	4 - 20
Sabores/ especias	Sabor: sabroso, carnoso, tostado, graso, sérico Mejora el sabor Notas de cereales	3 - 10
Grasa / aceite	Sabor, textura / sensación en boca Suculencia, reacción de Maillard / pardeamiento	0 - 15
Agentes aglutinantes	Textura / "mordida", unión de agua, puede contribuir al contenido de fibra, puede determinar las condiciones de procesamiento de producción	0 - 5
Agentes colorantes	Apariencia / atractivo visual Natural o artificial	0 - 0.5

Fuente: Lee *et al.* (2020).

1.2. CARNE SINTÉTICA

La carne sintética o carne cultivada es aquella carne producida por medio del cultivo de células en un laboratorio, impulsada por los avances realizados en los últimos años en biología celular e ingeniería de tejidos (Post, 2012). La carne in vitro se define como carne cultivada en laboratorio dentro de un biorreactor en condiciones artificiales controladas. Hocquette (2016) proporciona una definición alterna cuando sostiene que la carne cultivada se describe con mayor precisión como "proteínas

"musculares artificiales" porque "carne" implica la maduración dentro de un animal y el proceso de sacrificio.

La carne a base de células se ha identificado con muchos otros nombres, que incluyen: carne sintética, carne *in vitro*, análogo de la carne, carne artificial, carne de cultivo celular, carne celular, carne limpia, carne cultivada, carne modificada, carne de ingeniería, carne de fábrica, carne falsa, carne cultivada en laboratorio, carne de laboratorio, sustituto de la carne, carne alternativa, carne simulada y carne de imitación (Faustman *et al.*, 2020; Ismail *et al.*, 2020; Suthar y Devkatte, 2020).

En teoría, este sistema puede ser lo suficientemente eficiente, controlable y manipulable para satisfacer la demanda mundial de carne; sin embargo, el establecimiento de una producción de carne *in vitro* sostenible enfrentaría desafíos técnicos considerablemente mayores y aún se requiere gran cantidad de investigación para establecer este sistema de cultivo de carne libre de animales a escala industrial (Gauna & Pérez Filgueira, 2018). Hasta ahora se han conseguido producciones pequeñas en las cuales no se tiene un control total de las características organolépticas que los comensales exigen a la hora de probar un corte de carne. Se trabaja también en cómo darle a la carne textura, sabor y aroma; incluso en cómo darle color. Como Post (2012) apunta, para que sirva como una alternativa creíble a la carne de ganado, la carne cultivada en laboratorio o en fábrica debe producirse de manera eficiente y debe imitar la carne en todas sus sensaciones físicas, como apariencia visual, olor, textura y, por supuesto, sabor. Este es un desafío formidable a pesar de que se han desarrollado y probado todas las tecnologías para crear músculo esquelético y tejido graso. El cultivo eficiente de la carne dependerá principalmente de las condiciones de cultivo, como la fuente del medio y su composición. La síntesis de proteínas por células de músculo esquelético cultivadas se debe maximizar aún más encontrando la combinación óptima de condiciones bioquímicas y físicas para las células. Muchas de estas variables son conocidas, pero sus interacciones son numerosas y deben mapearse. Esto implica un enfoque sistemático, si no de sistemas. Dada la urgencia de los problemas a los que se enfrenta la industria cárnica, vale la pena emprender este esfuerzo. Como

beneficio adicional, el cultivo de carne puede brindar oportunidades para la producción de productos nuevos y más saludables (Bhat y Fayaz, 2011).

Con todo, esta área relativamente reciente abre todo un universo de posibilidades y oportunidades para el sector cárnico. Por su esperada seguridad química y microbiana mejorada y las opciones variadas que se espera ofrecerá, la carne *in vitro* se ha propuesto como un producto verde, saludable, ecológico y nutricionalmente mejor, libre de sufrimiento y muerte animal. El cultivo celular y el cultivo de tejidos son las tecnologías más probables para el desarrollo de este producto muscular futurista. Sin embargo, existen muchos desafíos en la producción de un producto adecuado a escala industrial bajo un sistema de producción sostenible y se requiere mucha investigación para llenar los vacíos en el conocimiento (Chiles, (2013). Muchos materiales que se utilizan en el desarrollo de los productos son nuevos y no se han probado dentro de la industria alimentaria, por lo que urgen sistemas de evaluación de seguridad y reglamentación capaces de gestionar cualquier riesgo asociado con el desarrollo de la carne cultivada, cuyo futuro dependerá de las acciones de los gobiernos y de las agencias reguladoras (Bhat *et al.*, 2019).

Para dar una idea de la magnitud y complejidad de este proceso, Gauna y Pérez Filgueira (2018) mencionan que para producir un kilogramo de carne en laboratorio se deben producir aproximadamente 50,000 millones de células fuera del animal (*ex vivo*), y se debe replicar *in vitro* la formación de fibras musculares, que luego se cosechan y procesan. De hecho una hamburguesa de tamaño regular está compuesta por unas 20,000 de estas hebras musculares. Los desarrollos actuales son experimentales y alcanzan la producción de tejidos musculares compuestos básicamente por un tipo celular.

En 2013 se cocinó y comió en Londres la primera hamburguesa creada en el laboratorio y los escépticos la bautizaron como *Frankenburger*. Este fue el debut del proyecto dirigido por Mark Post, un investigador de la Universidad de Maastricht, en los Países Bajos, quien desde hace años estudia la posibilidad de crear carne sintética a través del cultivo en laboratorio de células madre bovinas (Petetin, 2014).

1.3. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CARNE

Los sectores ganadero y cárnico representan una parte sustancial del valor de la producción agropecuaria mundial, de hecho equivalen a más de la mitad en los países desarrollados y a la cuarta parte en los países en desarrollo (FAO, 2020). Por otra parte, el volumen mundial de productos pecuarios ha aumentado con mayor rapidez que el de otros sectores de la agricultura, y se prevé que esta tendencia continuará durante algún tiempo (FAO, 2003). La contribución de las mejoras de la productividad animal al crecimiento de la producción de carne ha sido casi tres veces superior a la del aumento del número de cabezas de ganado. En el futuro esta tendencia habrá de continuar a fin de satisfacer la demanda durante los próximos 15-20 años. La mayoría de las novedades tecnológicas conseguidas hasta el momento han permitido mejorar la eficacia mediante el aumento de la productividad animal por unidad de insumos y/o tiempo y a mejorar la calidad de los productos derivados, así como la sanidad animal. Sin embargo, es un hecho que la demanda de alimentos y la población mundial que necesita ser alimentada se incrementarán en las próximas décadas, por lo que los avances alcanzados no resultarán suficientes (Fukase y Martin, 2020).

El consumo de carne está disparado y es insostenible; la dieta actual no es buena ni para la de las personas ni para la salud del planeta. España, por ejemplo, es el segundo país de Europa con mayor consumo cárnico: 257 gramos al día, cuando lo recomendable son 300 gramos a la semana (Alcalde *et al.*, 2013). Gracias a la importancia nutricional y a la sostenida popularidad de la carne como alimento, la producción ganadera ha tenido un creciente desarrollo. Con el actual consumo medio de carne de 42 kg por año a nivel mundial, el sector se ha expandido rápidamente en los últimos decenios (OECD-FAO, 2020). Los datos subrayan que desde 1960, la producción mundial de carne se ha triplicado en comparación con los decenios pasados y se contempla que siga en aumento pasando de 233 millones toneladas métricas (tM) en el año 2000 a 300 millones de tM en 2020 (Ritchie y Roser, (2019).

El crecimiento exponencial del sector de la carne de ganado plantea un gigantesco desafío a la sostenibilidad del sistema de producción de alimentos. Según

las perspectivas demográficas de las Naciones Unidas, se espera que la demanda mundial de alimentos aumente en un 70% como resultado del crecimiento de la población (FAO, 2009). A nivel mundial, unos 670 millones de toneladas de cereales se utilizan como alimento para el ganado anualmente, lo que representa más de un tercio del uso total de cereales en el mundo. Este deja una pequeña porción para alimentar a la gran y creciente población del mundo. Según el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), si el alimento cultivado en todo el mundo para el ganado se libera para los humanos sería suficiente para alimentar a 3,500 millones de personas (UNEP, 2013).

En virtud de todo lo anterior, resulta claro que si se desea resolver el problema de la carne, se debe poder producir carne. Woll y Böhm (2018) mencionan que los innovadores, es decir, aquellos que están investigando la carne cultivada o apoyan dicha investigación, se enfocan en la afirmación de que la carne cultivada es una solución tecnológica plausible a los problemas actuales de la producción y el consumo de carne de hoy. La argumentación de los innovadores se puede reconstruir como se muestra en la Figura 1, dónde se observa con claridad que los innovadores consideran que la carne cultivada es una solución viable y sostenible a los problemas actuales de la producción cárnica actual, además de que afirman que la carne cultivada es más respetuosa con el medio ambiente y los animales, más sana y más segura.

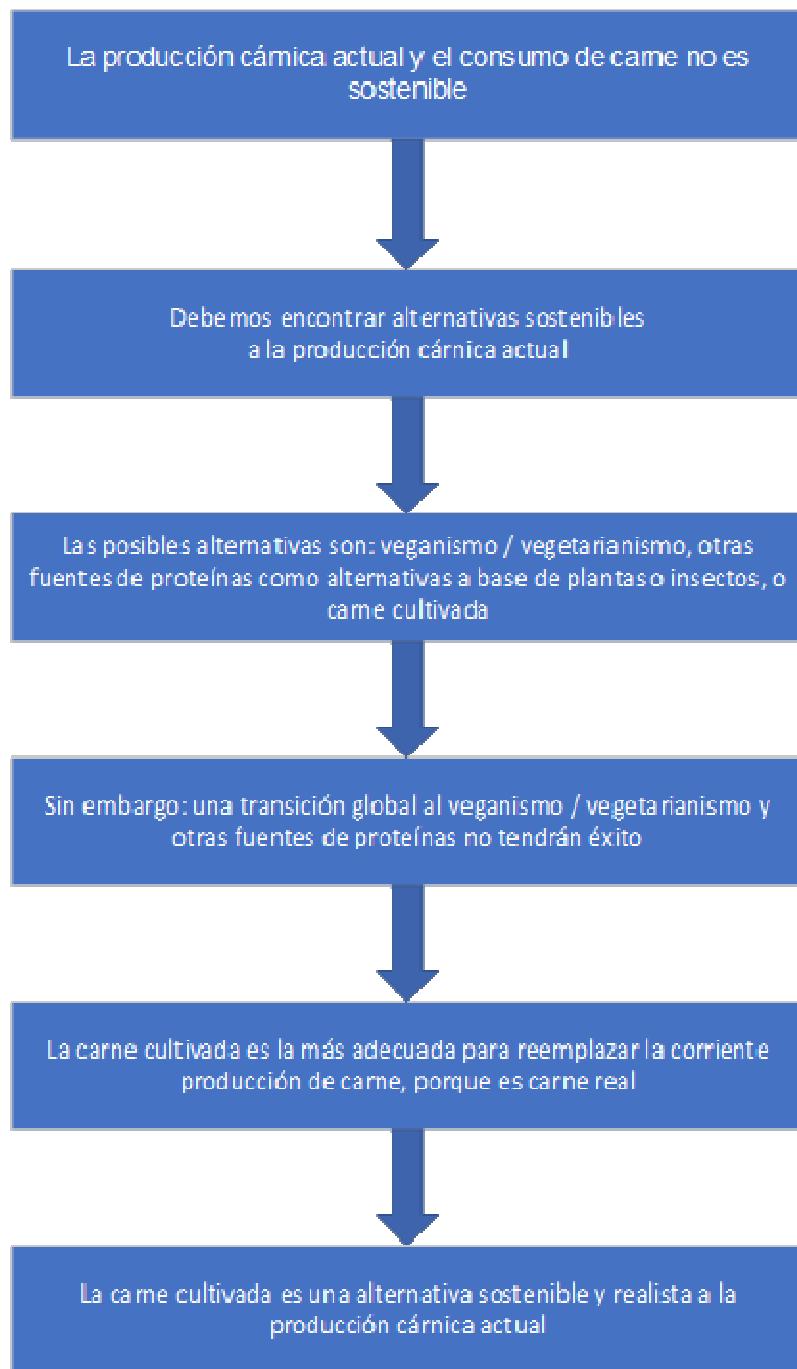


Figura 1.. Reconstrucción de la argumentación de los innovadores.

Fuente: Woll & Böhm (2018).

2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pretende dar a conocer una nueva forma de producción alimenticia que ya existe y que se realiza en los laboratorios con base en células madre de animales, como una alternativa diferente para el desarrollo de productos alimenticios que podrían destinarse para la venta y el consumo humano. Estos "alimentos sintéticos" tienen como principal objetivo el abastecer las necesidades alimenticias de la población en forma rápida y segura, pero al ser producto de una tecnología relativamente nueva, la información existente es escasa, dispersa y en ocasiones, poco precisa.

Desde el punto de vista social, el crecimiento poblacional proyectado para 2050 obligan a la industria cárnica y al sector agropecuario a buscar técnicas alternativas de producción animal. Por otro lado, existen varios grupos que apoyan y financian los proyectos de producción de "alimentos sintéticos", entre ellos los veganos, los vegetarianos, y quienes se oponen a la explotación y matanza de animales para comer. También hay gobiernos e instituciones privadas que otorgan ayuda para estas investigaciones, pero por otro lado está el sector cárnico tradicional, sobre todo en los Estados Unidos y en los países europeos.

Desde una perspectiva ambiental, el exceso de contaminación, los gases de efecto invernadero y el tardado proceso de producción que conlleva la cría de animales y la producción vegetal asociada requerida son una fuerte carga para el planeta.

Desde la óptica académica, los modelos tradicionales de producción animal suponen un gran costo ambiental y económico. También existen consideraciones éticas alrededor del bienestar animal con base en ciertos esquemas productivos. Estos aspectos, junto al hecho del incremento esperado en la demanda de proteína animal, hacen que la carne cultivada pueda ser una opción viable y plausible para resolver muchos de estos retos. El tema de la ingeniería de tejidos, enfocada en las ventajas y desventajas de la producción in vitro, se presenta como una posible línea

de investigación futura para paliar el hambre y la inseguridad alimentaria de forma ambientalmente sostenible (Cartín-Rojas y Ortiz, 2018).

Desde el punto de vista profesional, la realidad actual es que el profesional promedio de los agronegocios internacionales ignora todo lo tocante a los alimentos sintéticos, y no posee conciencia de su potencial como campo laboral ni de las posibilidades de que pueda ser en el futuro un negocio rentable. Con la asesoría correcta, el acceso a fuentes de información confiables y el paso del tiempo es posible crear un mundo donde la dependencia de animales para consumo quede obsoleta.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO·GENERAL

Analizar la producción de alimentos sintéticos, su viabilidad y mercado, para poder definir su potencial dentro de los agronegocios en el siglo XXI.

3.2. OBJETIVOS·ESPECÍFICOS

1. Revisar los aspectos técnicos de la producción de la carne sintética, sus posibles beneficios y riesgos, la percepción y aceptación de los consumidores, y los aspectos éticos y legales.
2. Examinar el potencial que tiene la producción de alimentos sintéticos para los agronegocios.

4. METODOLOGÍA

4.1. TIPO DE ESTUDIO

El enfoque de la investigación es de tipo cualitativo, ya que se enfoca en compendiar información relacionada con los diversos aspectos que atañen a la carne sintética, tema sobre el cual se busca obtener un conocimiento detallado para descubrir cómo se ha desarrollado y tratar de interpretar los elementos subjetivos. En relación al control que se tuvo sobre las variables de la investigación, el estudio se considera como no experimental, porque se analiza el estado actual de la carne sintética, sin ninguna manipulación ni intervención por parte del investigador. En lo tocante a las fuentes de información, la investigación fue documental, pues se requirió buscar sobre el tema en diversos documentos.

El alcance de la investigación es diverso. En principio, el estudio es exploratorio porque busca generar conocimiento sobre un tema del que se dispone de información, pero mucha de la cual se encuentra dispersa y es poco conocida para los que no son especialistas en el tema. En este punto se exploran los conceptos relevantes asociados con la investigación, con el fin de obtener una mejor comprensión del tema. El alcance también es descriptivo porque se busca especificar y detallar el conjunto de propiedades, características y rasgos de la carne sintética y sus implicaciones en diversos ámbitos. Por último, el alcance es explicativo, porque se busca establecer las causas de los fenómenos que se estudian, e incluso formular una predicción de su generalización futura con base en el progreso y las tendencias.

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en dos etapas. La primera etapa, de carácter documental, consistió en la búsqueda de información sobre el tema de interés mediante la indagación en diversas revistas científicas, publicaciones periódicas, documentos oficiales o informes técnicos de instituciones públicas o privadas, textos, trabajos presentados en congresos, conferencias, seminarios y foros, tesis y trabajos de grado, monografías. Para tal efecto se visitó la biblioteca Jesús Tavizón Araiza de la

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana para la búsqueda de material bibliográfico.

También se tuvo acceso a la Biblioteca Virtual de la Universidad Veracruzana, donde se exploraron las bases de datos con que cuenta la universidad, así como otros documentos de algunas páginas electrónicas como scielo, redalyc y google académico. Para investigar en los motores de búsqueda se utilizaron palabras clave tanto en español como en inglés, tales como: alimentos sintéticos, comida sintética, alimentos de laboratorio, producción artificial, células madre en alimentos, In vitro, biotecnología cárnica, carne cultivada, ingeniería de carne, ingeniería de tejidos, carne vegana, ingeniería de alimentos, entre otros.

La segunda etapa de la investigación tuvo un carácter de gabinete, para lo cual se organizaron los datos obtenidos en una secuencia lógica. Para ese propósito, todo el material colectado se clasificó en grandes categorías que se identificaron como capítulos de la monografía: aspectos técnicos del desarrollo de la carne sintética, posibles beneficios de la carne cultivada, riesgos para la salud de la carne sintética, percepción y aceptación de los consumidores y aspectos éticos y legales.

5. ASPECTOS TÉCNICOS DEL DESARROLLO DE LA CARNE SINTÉTICA

En esencia, los aspectos técnicos se concentran en sembrar la carne en un cultivo en el laboratorio y en manipular su composición de forma selectiva (Sharma *et al.*, 2015). Los productos cárnicos cultivados inevitablemente estarán compuestos de múltiples tipos de células. Esto se suma a la complejidad del producto de destino, así como a los desafíos técnicos asociados con su producción. Los tipos de células que probablemente sean más importantes para la producción industrial incluyen: células satélite del músculo (o más generalmente, células precursoras del músculo [MPC]), mioblastos, miocitos (también conocidos como miotubos o miofibras), células madre derivadas de tejido adiposo (ADSC), adipocitos y fibroblastos. Las células satélite/MPC, mioblastos y miocitos primarios y secundarios representan una gama de células musculares en orden de las más parecidas a los más diferenciados /maduros. Los precursores de ADSC son células grasas que podrían ser útiles para producir el componente graso de productos cárnicos cultivados, mientras que los fibroblastos son células del tejido conectivo que aportan textura y estructura a los productos. El mayor obstáculo técnico restante para la producción de carne cultivada es cómo cultivar y gestionar todos estos tipos de células simultáneamente.

La elaboración de carne y sus derivados que se desarrollan en ambientes controlados permite: a) asegurar su inocuidad y autenticidad; b) generar productos libres de adulterantes; c) proveer alimentos sin la presencia de trazas o metabolitos de medicamentos que puedan propiciar la aparición de resistencias farmacológicas, y d) eliminar la presencia de organismos patógenos que permiten la aparición de enfermedades transmisibles por los alimentos. Lo anterior permitirá lograr una disminución significativa de los índices epidemiológicos de morbilidad y mortalidad de algunas zoonosis alimentarias, así como disminuir los riesgos de contaminación cruzada al proporcionar un mayor control del proceso productivo (Cartín-Rojas y Ortiz, 2018; Suthar y Devkatte, 2020).

5.1. COMPOSICIÓN DE LA CARNE

La carne está compuesta principalmente por músculo esquelético que consiste de varios tipos de células. Estas fibras del músculo esquelético son un resultado de la proliferación, diferenciación y fusión de los embriones mioblastos o las células satélites (Zhang *et al.*, 2020). Varios autores han sido propuesto los tipos de células mas viable para elaborar carne artificial, lo que incluye: células de miosatélite, células madre embrionarias y células madre adultas (Sharma *et al.*, 2015). Las células satélites o los mioblastos son responsables de la regeneración muscular y se diferencian fácilmente para eventualmente formar miofibrillas. Por otro lado, las células madre pueden diferenciarse en diferentes tipos de células y se encuentran principalmente en las etapas de desarrollo de los organismos.

5.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CARNE CULTIVADA

El proceso mediante el cual se crea la carne cultivada se denomina ingeniería de tejidos y se originó en el campo de la medicina regenerativa. Para el proceso de producción de carne cultivada, las células madre musculares se extraen de un organismo donante en una biopsia muscular y luego se proliferan *in vitro* en el laboratorio. Las células se cultivan en medios de crecimiento utilizando matrices donde se multiplican (proliferación). Finalmente, las células madre se convierten en células musculares a través de un 'proceso de diferenciación', que luego se convierten en fibras musculares, como muestra la Figura 2 (Woll y Böhm, 2018).

Aunque la producción de carne cultivada es posible en principio, todavía no existe un proceso para la producción a gran escala de carne cultivada. Esto se debe en gran parte al hecho de que los componentes básicos de un proceso de cultivo de carne deben investigarse con mayor profundidad. Entre otras cuestiones, la producción de carne cultivada requiere células adecuadas, un medio de crecimiento apropiado (idealmente de origen no animal, porque los componentes animales pueden contener enfermedades transmisibles, materiales adecuados (comestibles) para las matrices (por ejemplo, gel de fibrina-hidrógeno), a lo largo de las cuales las

células pueden crecer para producir trozos de carne más gruesos (Bhat *et al.*, 2015), así como biorreactores eficientes y de bajo costo de tamaño suficiente.

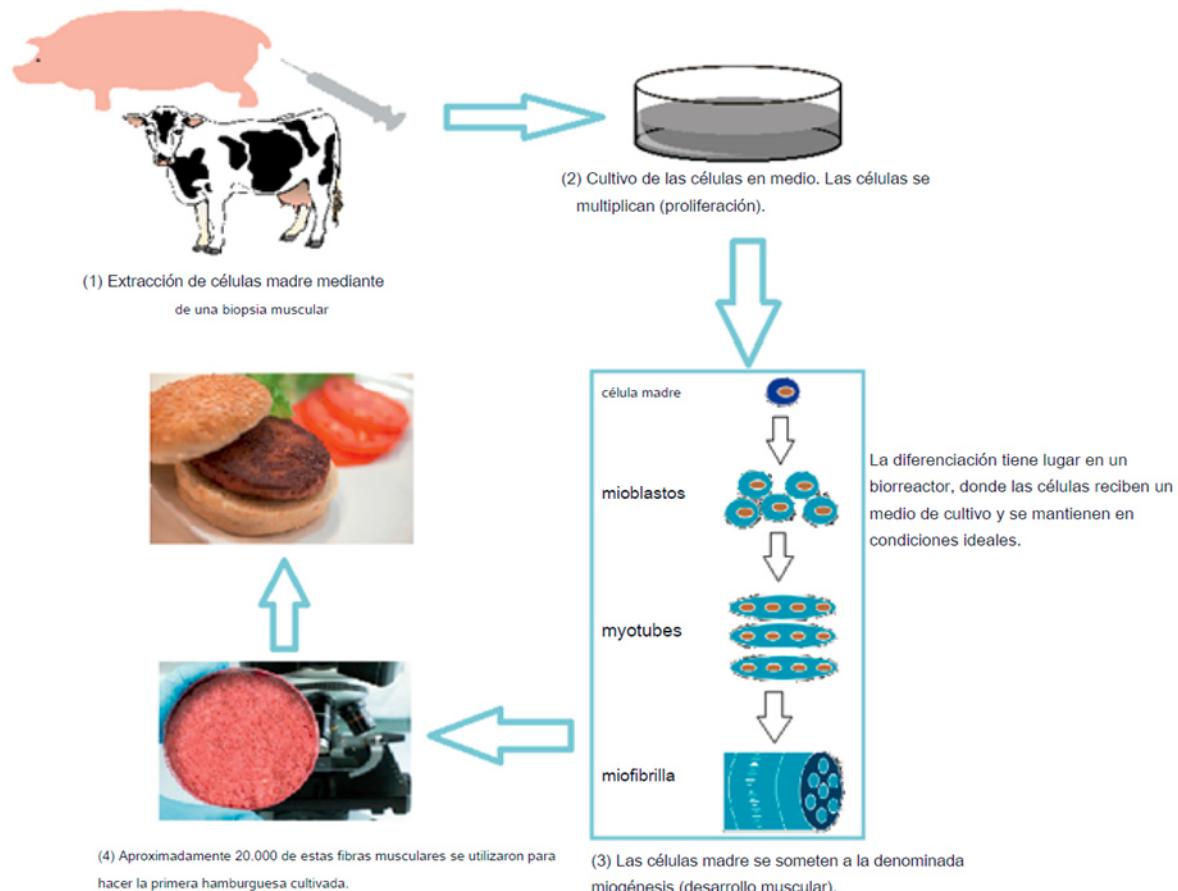


Figura 2. Proceso de producción de carne cultivada.

Fuente: Woll & Böhm (2018)

Existen serias dudas de que estos desafíos se puedan resolverse en un futuro cercano, o incluso eventualmente. Además, todavía no existe un proceso para multiplicar no solo las células musculares sino también las células grasas, lo cual es relevante para la carne nutritiva y particularmente para el sabor. De manera adicional, todavía no es posible producir trozos continuos de carne tales como bistecs, por ejemplo, debido a que las estructuras de tejido más gruesas aún no pueden ser suministradas de manera consistente con oxígeno y nutrientes durante el período de crecimiento. Esto, sin embargo, sería relevante para reemplazar la carne

convencional, ya que los productos cárnicos picados generalmente tienen menos demanda que los trozos de carne más grandes (Zhang *et al.*, 2020).

5.3. CARNE, MÚSCULO Y CULTIVO DE MIOCITOS *IN VITRO*

Para entender los desafíos técnicos, se deben considerar primero las definiciones de carne, de biología muscular, y el cultivo *in vitro* de células musculares. La definición legislativa de carne en la Unión Europea es: "músculo esquelético con inclusión natural o adherencias de grasa y tejido conectivo" (Lautenschläger y Upmann, 2017). Estructuralmente, la carne es un producto desangrado y deshidratado del sistema musculo esquelético que puede estar formado por una serie de tejidos como el músculo esquelético, el hueso, los tejidos conectivos, los vasos sanguíneos y los nervios.

El músculo esquelético que está predominantemente unido al hueso por medio de los tendones y se conecta entre sí por medio de una red de tejidos conectivos de composición variable, pero predominantemente de colágeno (Siegrist & Hartmann, 2020). Hay tres procesos por los que se forma el músculo esquelético: la miogénesis embrionaria, la miogénesis esquelética del adulto y la regeneración muscular después de un trauma (Chriki *et al.*, 2020).

La ingeniería del tejido muscular esquelético *in vitro* tiene como objetivo imitar la regeneración muscular después de un trauma y/o la miogénesis embrionaria. Aunque el tipo de célula y las vías de maduración pueden ser diferentes, el objetivo final es obtener una célula diferenciada terminal capaz de proliferar y diferenciarse en fibras musculares. La generación de músculo comienza durante la embriogénesis donde el primer Las fibras musculares se forman a partir de estructuras derivadas del mesodermo. Las células progenitoras miogénicas musculares proliferan entonces y continúan hasta que un se alcanza el estado estable (Bentzinger *et al.*, 2012). Una vez que el músculo ha madurado estas células musculares entran en un estado de reposo y se encuentran entre la lámina basal y el sarcolema de miofibras.

El objetivo de la tecnología del cultivo *in vitro* es imitar el nicho ambiental *in-vivo* para crear músculo esquelético comparable al tejido nativo, que tendría como objetivo replicar la embriogénesis o la vía de regeneración dependiendo de la fuente de la célula de partida. Típicamente, la ingeniería de tejidos para carne cultivada se centra en el crecimiento de células "musculares" miogénicas (miocitos) solas a través de la vía de regeneración, ya que son el principal constituyente de la carne. Sin embargo, como ya se mencionó, para lograr un tejido muscular que tenga el potencial de replicar completamente la carne, se requieren múltiples tipos de células (Bhat *et al.*, 2015).

5.3.1. TIPOS DE CÉLULAS PARA CULTIVO DE CARNE

El músculo esquelético es un tejido que consiste de varios tipos de células. Las fibras del músculo esquelético se forman por la proliferación, diferenciación y fusión de mioblastos embrionarios y, en el animal postnatal, por células satélite, para formar grandes sincitios multinucleados (McFarland, 1999). Los intentos de forzar la proliferación de las fibras musculares esqueléticas suelen ser contraproducentes, ya que la mayoría de los mionúcleos permanecen posmitóticos (Kosnik *et al.*, 2003).

5.3.2. CELULAS MADRE EMBRIONARIAS

Indudablemente, las células madre embrionarias son una opción obvia muy viable debido a su alto potencial de proliferación, y a su potencial regenerativo ilimitado. Sin embargo, en la práctica, existen varios inconvenientes como el que se debe realizar un esfuerzo considerable para obligarlas a diferenciarse, el que los rendimientos celulares de las cosechas son bajos y el que es probable que las mutaciones genéticas a largo plazo limiten la potencial de producción de una célula madre embrionaria. Además, no está claro si las células madre embrionarias obligadas a comprometerse con un linaje de músculo esquelético tendrán las características proliferativas de las células madre embrionarias o se volverán indistinguibles de los mioblastos, en cuyo caso tendrían que ser estimuladas para diferenciarse en mioblastos. Por lo tanto, la fuente de células más práctica para la carne cultivada son

probablemente los mioblastos embrionarios o las células del músculo esquelético postnatal / post-eclosión llamadas células satélite (Sharma *et al.*, 2015).

5.3.3. CÉLULAS MIOSATÉLITALES

Se han aislado y caracterizado células satélite con alto potencial proliferativo del músculo esquelético de pollos, pavos, cerdos, corderos y ganado (Dodson *et al.*, 1987; McFarland *et al.*, 1997; Blanton *et al.*, 1999). Las células de los miosatélites de diferentes fuentes han sido aisladas y caracterizadas y difieren enormemente en sus capacidades de proliferación y diferenciación. En cada caso, estos investigadores han establecido las condiciones del medio para apoyar la proliferación y diferenciación de las células para formar fibras musculares inmaduras llamadas miotubos en cultivo. Estas células son consideradas como la fuente más adecuada de Células para el cultivo de la carne. Son un tejido muscular raro que poseen un potencial regenerativo limitado y recapitulan el proceso de miogénesis con alta eficacia, a diferencia de las células madre embrionarias.

5.3.4. CÉLULAS MADRE ADULTAS

Se supone que las células madre epiteliales son una opción viable dado que forman el componente primario de la carne, es decir, el músculo (Sun *et al.*, 2020). Las células madre adultas derivadas del tejido adiposo son las células multipotenciales que se prevén utilizar. La mayor deficiencia del uso de células madre adultas es que son propensas a una transformación maligna; la recolección de células madre adultas derivadas de tejido adiposo es mucho menos invasiva que la de células miosatélites (Sharma *et al.*, 2015). Por lo anterior, además del cultivo, la proliferación y la subsiguiente la recolección de tipos de células individuales aisladas, Gaydhane *et al.* (2018). han sugerido la idea de co-cultivar mioblastos con células de grasa.

5.3.5. TÉCNICA DE AUTO-ORGANIZACIÓN

Esta técnica implica el uso de un explante (esto es, un tejido vivo separado de su propio órgano y transferido a un medio artificial de crecimiento) del músculo de un animal donante que luego se prolifera en un medio nutritivo. La técnica de auto-

organización ayuda a crear una estructura, de modo que la carne producida tendrá una estructura tridimensional bien definida, al igual que la conformación natural de la carne. Lo mismo se puede lograr usando los principios de la ingeniería de tejidos. A pesar de esto, el problema sigue siendo el potencial de proliferación limitada, por lo que se requerirían nuevas biopsias de los animales donantes de forma constante para lograr el desarrollo de dicho producto (Sharma *et al.*, 2015). La génesis de la idea se remonta a principios del siglo XXI, cuando Benjaminson *et al.* (2002) utilizaron técnicas de ingeniería de tejidos para la producción de carne. Colocaron explantes de músculo esquelético de peces de colores (*Carassius auratus*) y observaron un patrón variado de crecimiento. Los explantes también se colocaron en un cultivo que contenía células del músculo esquelético de *Carassius* disociadas y se registró aumento de 79% en la superficie del explantes.

El sistema de carne cultivada más simple probablemente consista en usar una única línea celular miogénica de un animal, o un cocultivo con células grasas. Después del cultivo y la cosecha, las células podrían prepararse para el consumo como carne procesada. Sin embargo, el reproducir el sabor y la textura de las carnes no procesadas es un objetivo más ambicioso, ya que se necesitarían células vasculares, al igual que fibroblastos para la producción de tejido conectivo, y estos tendrían que organizarse adecuadamente en una estructura tridimensional. Un entorno de factor de crecimiento adecuado resulta esencial para dirigir la construcción de un tejido muscular esquelético estructurado (Zhang *et al.*, 2020).

5.4. TÉCNICA DE ANDAMIAJE

Otro material de origen animal en la carne de vacuno cultivada es el colágeno bovino mezclado con Matrigel. Este gel se utiliza como soporte temporal para diferenciar mioblastos para alinear, compactar y formar una fibra muscular y a menudo se lo denomina matriz o andamio (Langelaan *et al.*, 2010). El principio de la técnica basada en el andamiaje tiene como propósito que las células musculares (mioblastos embrionarios o las células satélites del músculo esquelético adulto) se hagan proliferar en un portador llamado andamio en presencia de un medio de cultivo en un biorreactor adecuado (Figura 3). Tal cultivo da como resultado miofibras que pueden

ser cosechadas, procesadas y se consumen como carne o sus productos (Bhat *et al.*, 2015). Actualmente hay dos propuestas para el uso de la célula cultivo para crear carne en el laboratorio (Boland *et al.* 2003; Zandonella, 2003).

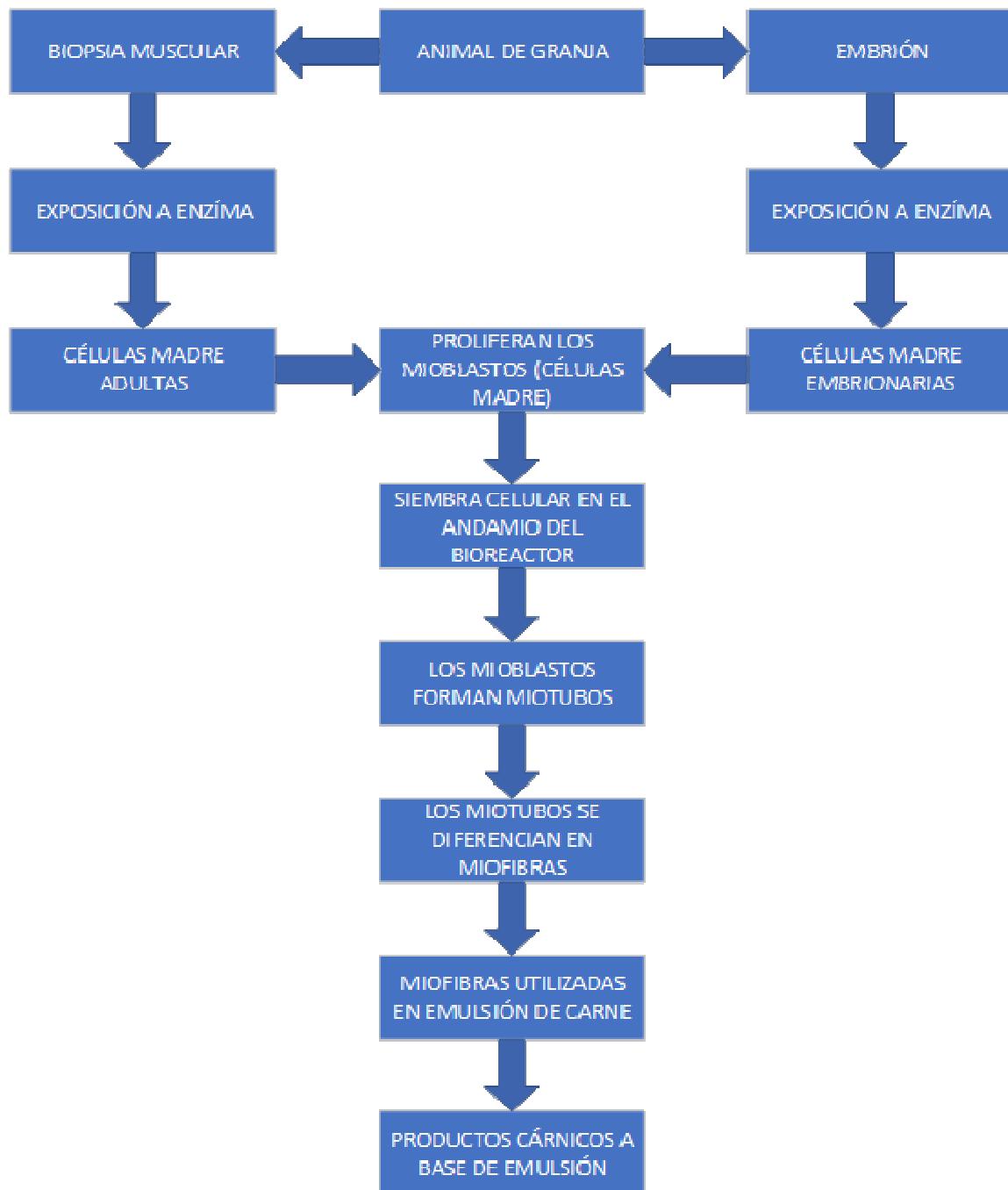


Figura 3. Producción de carne in vitro basada en andamios.

Fuente: Bhat *et al.* (2015).

5.5. MÉTODOS DE CULTIVO SIN SUERO

Los medios basados en suero se han utilizado ampliamente para cultivar células animales *in vitro*, proporcionando una gran actividad promotora del crecimiento para una serie de células de mamíferos. El suero contiene factores de fijación, micronutrientes, oligoelementos, factores de crecimiento, hormonas y elementos protectores que promueven un rápido crecimiento celular, pero también conlleva el riesgo de contaminación con virus o priones (Sharma *et al.*, 2015). Para la ingeniería de tejidos y la ampliación de la carne cultivada es fundamental emplear un medio seguro y de bajo costo. En las últimas décadas, se han notificado varias formulaciones de medios sin suero para líneas celulares de mamíferos e insectos, así como para cultivos primarios (Gaydhane *et al.*, 2018). Un medio libre de suero suele consistir en un medio basal y suplementos de medio. El medio basal generalmente comprende aminoácidos, vitaminas, glucosa y sales inorgánicas, que son factores esenciales para el crecimiento y el metabolismo de las células. Los componentes químicos o factores de crecimiento pueden añadirse al medio libre de suero como suplementos (Chriki *et al.*, 2020).

En general, los factores de los suplementos se pueden dividir en factores necesarios y especiales. Los factores necesarios se requieren para que todas las líneas celulares crezcan en un medio libre de suero, incluyendo la transferrina y la insulina. Los factores especiales incluyen los factores adherentes, las proteínas aglutinantes y las hormonas. Sin embargo, el cambio a un medio libre de suero todavía requiere un estudio de la literatura que consume mucho tiempo y una búsqueda por parte del fabricante de las formulaciones apropiadas del medio (Chriki *et al.*, 2020).

No está claro cuánta carne cultivada podría producir una sola célula. Se cree que las células en cultivo experimentan un número fijo de duplicaciones, llamado límite de Hayflick. Los límites de Hayflick de las células progenitoras de músculos de animales de granja no se han establecido bien. Se ha demostrado que las células satélite clonadas a partir del músculo de la pechuga de pavo expresan telomerasa (Mozdziak *et al.*, 2000). Este hallazgo sugiere que algunas células satélite de

animales domésticos pueden generar suficientes células hijas para producir enormes cantidades de carne cultivada. Para otras especies, puede ser necesario proliferar un número suficiente de células madre en cultivo antes de la diferenciación en mioblastos, o para usar células transfectadas con el gen de la telomerasa, que tienen límites de Hayflick más altos (Edelman *et al.*, 2005).

Para disfrutar de muchas de las ventajas potenciales sobre la producción de carne convencional, la carne cultivada necesitaría emplear un medio de cultivo asequible. Dicho medio debe contener los componentes nutricionales necesarios y presentarse en forma que esté disponible libremente para los mioblastos y las células acompañantes, ya que no interviene el sistema digestivo. Las mejoras en la composición de los medios de cultivo celular disponibles comercialmente han mejorado la capacidad para cultivar con éxito muchos tipos de células animales (Edelman *et al.*, 2005).

Además de proporcionar una nutrición adecuada a las células musculares en crecimiento en cultivo, es necesario proporcionar una serie adecuada de factores de crecimiento. Los factores de crecimiento son sintetizados y liberados por las propias células musculares y, en los tejidos, también son proporcionados por otros tipos de células localmente (efectos paracrinos) y no localmente (efectos endocrinos). El hígado es la fuente principal de factor de crecimiento similar a la insulina-I circulante. Pueden desarrollarse sistemas de co-cultivo apropiados de manera que las células del hígado (hepatocitos) proporcionen factores de crecimiento necesarios para la producción de músculo (carne) cultivado. Normalmente, los investigadores inician la diferenciación y fusión de mioblastos reduciendo los niveles de factores de crecimiento mitogénicos. Entonces, las células en proliferación comienzan la síntesis del factor de crecimiento similar a la insulina II, lo que conduce a la diferenciación y formación de miotubos multinucleados (Florini *et al.*, 1991). Por lo tanto, el sistema exitoso debe ser capaz de cambiar la composición del factor de crecimiento de los medios.

Existen varios desafíos técnicos específicos que aún obstaculizan el escalado y la comercialización de productos cárnicos cultivados a bajo costo; muchos de ellos

se relacionan con el diseño de los medios que se utilizan para cultivar las células del tejido muscular animal (Kadim *et al.*, 2015; Stephens *et al.*, 2018). En la mayoría de las otras aplicaciones de cultivos de células animales, los ingredientes costosos y/o derivados de animales juegan un papel importante en las formulaciones de los medios. Muchos de estos componentes son comúnmente suministrados por suero fetal bovino, que es la fracción de sangre extraída de un feto dentro de una vaca preñada sacrificada. Claramente, existen preocupaciones éticas con esta práctica, pero también el suero fetal bovino varía de un lote a otro, en su mayoría no está definido y es caro (Jochems *et al.*, 2002). Se ha demostrado que estas diferencias en el suero fetal bovino pueden conducir directamente a cambios en el fenotipo muscular que podría alterar drásticamente la calidad de la carne (Khodabukus y Baar, 2014). Esto conduce a desafíos técnicos cuando el suero se usa incluso en aplicaciones convencionales. Como tal, reemplazar el suero u otros ingredientes derivados de animales sigue siendo un gran desafío para la formulación de medios de carne cultivada, incluso para la proliferación y diferenciación celular.

Otras preguntas por contestar incluyen cómo se pueden utilizar los medios para influir en las cualidades organolépticas y nutricionales de los productos cárnicos cultivados. Además, con el gran número de componentes de los medios típicamente presentes en los medios comerciales, es probable que se necesiten métodos sofisticados para la optimización experimental de los componentes y de sus concentraciones para desarrollar nuevos medios adaptados a las características deseadas. Derivado de todas las consideraciones anteriores, se puede asegurar que la producción de carne artificial en gran escala es significativamente desafiante, ya que depende del problema clave de producir medios de cultivo eficaces y rentables, pero lograr una producción rápida en gran escala en el corto plazo es poco realista y lo más probable es que tome muchas décadas (Larsen, 2020).

6. POSIBLES BENEFICIOS DE LA CARNE CULTIVADA

Edelman *et al.* (2005) apuntan que, aunque la carne convencional goza de una popularidad sostenida como alimento, en años recientes los consumidores expresan una creciente preocupación por algunas consecuencias relacionadas con su producción y consumo. Varios de los problemas que se asocian con el consumo de la carne convencional, pueden ser vistos como beneficios potenciales de la carne cultivada.

6.1. ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LA NUTRICIÓN

Las enfermedades cardiovasculares y diabetes se asocian con el consumo excesivo de grasas animales y son ahora responsables de un tercio de la mortalidad mundial. Se estima también que el consumo excesivo de carne puede ser responsable de un cuarto de todas las cardiopatías isquémicas, cerca de 2 millones de muertes, anualmente (GBD 2019 Viewpoint Collaborators, 2020).

Con la carne cultivada, será posible controlar el contenido de grasa, ya sea mediante la suplementación de grasas después de la producción, o bien mediante el cultivo conjunto con adipocitos productores de grasa. La mayoría de las carnes tienen un alto contenido de ácidos grasos saturados y un bajo contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Los primeros han estado implicados en el desarrollo de enfermedades cardíacas, mientras que los segundos tienen un efecto beneficioso sobre el colesterol en sangre. Al fabricarse en laboratorio, la proporción de ácidos grasos saturados y poliinsaturados podría controlarse mejor (Valsta *et al.*, 2005).

6.2. PATÓGENOS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS CARNES

La OPS (sf) define un brote de ETA (Enfermedad transmitida por alimentos) como “un incidente en el que dos o más personas presentan una enfermedad semejante después de la ingestión de un mismo alimento”. Los alimentos involucrados con más frecuencia en las epidemias y casos de ETA son los de origen animal. De hecho, en los Estados Unidos, casi el 50% de las epidemias donde se identificó el vehículo, los productos involucrados eran de origen animal (carne bovina, carne porcina, carne de

aves, huevos, pescados, crustáceos, moluscos, o productos lácteos). En China se encontró una presencia inferior a 2% de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* y de *Escherichia coli* productora de diarrea en más de 4000 muestras procedentes de las siete regiones de China que representan distintas áreas geográficas (Yang *et al.*, 2016). Estos valores son muy inferiores a los identificados en la carne de aves de corral ave comercializada en Europa, donde *S. aureus* es el principal patógeno detectado en la carne (38.5%), seguido de *Campylobacter* spp. (33.3), y en menor grado *L. monocytogenes* y *Salmonella* spp. presentan una prevalencia menor (19.3% y 7,10% respectivamente) (Gonçalves-Tenório *et al.*, 2018). Otros organismos transmitidos por los alimentos que pueden recuperarse son: *E. coli* patógena, influenza aviar y encefalopatía espongiforme bovina (BSE) (Fegan y Jenson, 2018).

La industria cárnica ha creado un entorno favorable para los agentes altamente contagiosos, de modo que en muchos casos, la infección en la carne se origina en la propia unidad de producción (Bhat *et al.*, 2015). Según la Organización Mundial de la Salud (2020), las especies de *Campylobacter* son ahora la causa más común de gastroenteritis bacteriana en los países desarrollados, y los casos se asocian predominantemente con el consumo de aves de corral". Cerca de 90% de los pollos en los Estados Unidos y el 50-75% en el Reino Unido están infectados con *Campylobacter*. Los brotes y epidemias de enfermedades como la espongiforme bovina (BSE) o Enfermedad de la Vaca Loca, la gripe porcina y la fiebre aftosa plantean preocupaciones por la salud animal y humana una y otra vez.

Otra faceta negativa de la producción de carne de ganado es el uso incontrolado de antibióticos y otros medicamentos para promover el crecimiento. Esto da lugar a peligros para la salud humana, en particular a la resistencia a los antibióticos (Moritz *et al.*, 2015). Esto ha tejido un círculo vicioso de desafíos que llevó a un aumento de la resistencia a los antibióticos y a la necesidad de antibióticos más eficaces en el mundo para tratar varios problemas de salud formidables. La producción industrial de animales implica preocupaciones de salud pública que rodean a las formulaciones de alimentos, incluidos los tejidos animales, el arsénico y

los antibióticos, además de los riesgos para la salud laboral y riesgos para las comunidades cercanas. En contraste con esto, el proceso de creación de cultivo de carne dentro del laboratorio no existe participación por medio de la agricultura y tampoco alimentación con drogas y antibióticos, pues Datar y Betti (2010) afirman que el cultivo de miocitos es una solución a este conjunto de preocupaciones relacionadas con la salud que plantea la carne de ganado.

6.3. USO INEFICIENTE DE RECURSOS

El obtener nutrientes de la carne, en lugar de hacerlo directamente de las plantas, utiliza considerablemente más terrenos de cultivo, agua, fertilizantes, pesticidas y energía. Dados los insumos necesarios para albergar, transportar y sacrificar animales, para transportar y procesar los cereales forrajeros; y transportar y procesar la carne, la producción intensiva de carne es solo un 25 por ciento más eficiente en términos de energía que la producción de soya. El obtener los alimentos exclusivamente de plantas permitiría alimentar a un número sustancial de personas utilizando los recursos disponibles (Smith *et al.*, 2014; Smetana *et al.*, 2015). Si bien es cierto que la contribución de las mejoras de la productividad animal al crecimiento de la producción de carne ha sido casi tres veces superior a la del aumento del número de cabezas de ganado, parece que esta tendencia habrá de continuar en el futuro a fin de satisfacer la demanda durante los próximos 15-20 años. La mayoría de las novedades tecnológicas conseguidas hasta el momento han permitido mejorar la eficacia mediante el aumento de la productividad animal por unidad de insumos y/o tiempo y a mejorar la calidad de los productos derivados, así como la sanidad animal (Moritz *et al.*, 2015).

Por otro lado, los modelos tradicionales de producción animal tienen un alto costo ambiental y económico. Por razones de condiciones ambientales y preferencia del consumidor, las empresas tienden a privilegiar ciertas especies. Así, los Estados Unidos se centran en la producción de bovino y cerdo, en tanto que en Europa se prefiere la carne de bovino y en Israel la carne de pollo. La sobre población de ganado, en particular bovino, afecta al medio ambiente y representa una fuerte inversión económica para los productores.

6.4. CONTAMINACIÓN E IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO

Tan solo en los Estados Unidos, cada año se producen 1,400 millones de toneladas de desechos de animales de granja. Junto con la producción de alimentos para animales, la producción de carne es responsable de las emisiones de nitrógeno y fósforo, la contaminación del agua con pesticidas, la contaminación del suelo con metales pesados y la lluvia ácida a partir de las emisiones de amoníaco. Además, en los Estados Unidos, una cuarta parte de toda la producción inducida por el hombre del gas de efecto invernadero, el metano, proviene de animales de granja y sus productos de desecho (Machovina *et al.*, 2015; Macdiarmid *et al.*, 2016; EPA, 2020).

La producción ganadera no solo tiene una influencia negativa en las emisiones de gases con efecto invernadero GEI, sino también en la huella hídrica, la contaminación del agua y la escasez de agua (González *et al.*, 2015). La agricultura en sí es responsable del 70-85% de la huella hídrica y el 30% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero; se estima que la ganadería causa el 14.5% de todas las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero. (Pfister *et al.*, 2011; Hoekstra y Mekonnen, 2012; Vermeulen *et al.*, 2012; Garnett *et al.*, 2013; Pfister y Bayer 2014). Según la ONU, el producir 1 kg de carne de bovino requiere 15 veces más agua que producir vegetales y genera 12 kg de dióxido de carbono, lo cual equivalente a realizar un recorrido de 200 km en un automóvil.

Tuomisto y de Mattos (2011) estimaron que, en comparación con la producción de carne convencional, la carne *in vitro* implica un ahorro de energía de 7-45%, un 78-96% menos en la emisión de gases con efecto invernadero, un 99% menos en el uso de la tierra y un 82-96% menos en el empleo de agua, asumiendo que las cianobacterias se pueden utilizar como fuente de nutrientes y energía.

Entre otros beneficios, se espera que la generalización en el consumo de carne cultivada podría reducir el uso de agua, los gases con efecto invernadero, el potencial de eutrofización y el uso de la tierra, en comparación con la producción convencional de carne de ganado. Dicho potencial se ha evaluado en una serie de simulaciones del ciclo de vida, todas basadas en modelos hipotéticos de la forma en

que se podría adoptar la producción de carne cultivada (Sun *et al.*, 2020). Al comparar la carne cultivada con la convencional de carne de vacuno, ovino, porcino y aves de corral, se encontró que ello implica aproximadamente un 78-96% menos de emisiones de gases de efecto invernadero, un 99% menos de uso de la tierra, 82-96% menos de uso de agua, y 7-45% menos de uso de energía, dependiendo de con qué producto cárnico se compara (aunque las aves de corral utilizan menos energía) (Mattick *et al.*, 2015).

Como resultado de otro estudio comparativo en que se utilizó un modelo diferente para la carne cultivada, donde las diferencias más notables fueron el método de producción de medios utilizado y la inclusión de una fase de limpieza, Stephens *et al.* (2018) sugieren que la carne cultivada podría implicar algunas compensaciones, tales como que el uso de energía que lleva a que la carne cultivada tenga un mayor calentamiento global potencial que la carne de cerdo o de ave, pero menor que la de vacuno, conservando importantes ganancias en el uso de la tierra.

En un ámbito de comparación diferente, Smetana *et al.* (2015) analizaron el ciclo "*from cradle to plate*" (de la cuna a la placa) para comparar la carne cultivada con una gama de alternativas con "carne" elaborada a base de plantas, micoproteínas y de lácteos, y el pollo, como la carne convencional menos problemática para el medio ambiente. A través de un conjunto de categorías ambientales encontraron que la carne cultivada tenía el mayor impacto, principalmente debido a sus altos requerimientos de nivel de energía, con excepción del uso de la tierra y de la ecotoxicidad terrestre y de agua dulce.

En síntesis, el panorama general es que la carne cultivada podría tener menos impacto ambiental, menor impacto que la carne de vacuno, y posiblemente que el cerdo, pero más que el de pollo Sin embargo, las evaluaciones del ciclo de vida realizadas hasta ahora señalan que la tecnología de la carne cultivada tiene un importante margen para la innovación que podría reducir las necesidades de energía por debajo de las utilizadas en estas evaluaciones y, posteriormente, podría dar mejores resultados ambientales de los que estos modelos predicen.

Además del desperdicio de alimentos, el mayor problema en el contexto de la gestión de desechos es la utilización tradicional de los cadáveres dentro la industria comercial de la carne. La carne cultivada ofrece una nueva oportunidad, en la que el corte principal se produce sólo para su consumo o procesamiento, en lugar de aprovechar solo una parte del animal y tener que deshacerse del resto del cadáver.

6.5. UTILIZACIÓN DE ANIMALES DE GRANJA

Tan solo en los Estados Unidos, para producir carne mueren cada año 9 mil millones de pollos, 32.2 millones de novillos, 2.2 millones de borregos, 121 millones de cerdos y 241.7 millones de pavos (North American Meat Institute, 2020). En contraste, la producción de carne sintética demanda un uso reducido de animales, ya que en teoría se puede incluso utilizar un solo animal de granja para producir el suministro de carne del mundo. La creación de carne *in vitro* basada en células animales obtenidas de cortes bovinos, podría permitir en el futuro que de un solo animal se obtuvieran células para desarrollar hasta 175 millones de filetes.

Por otro lado, se asume que la producción de carne sintética es más eficiente. Así, un animal criado para la producción convencional de carne sustenta, además del tejido muscular, las estructuras biológicas necesarias para la locomoción y la reproducción que incluyen huesos, sistema respiratorio, sistema digestivo, piel y sistema nervioso. Por el contrario, en la producción de carne cultivada, estas estructuras no tienen que cultivarse ni mantenerse. La carne cultivada también podría producirse en menos tiempo: semanas en lugar de meses o años antes de que se pueda cosechar la carne. Asimismo, la producción de carne cultivada debería ser más eficiente que la producción de carne convencional en su uso de nutrientes y energía, tierra, agua y trabajo humano; y debería producir menos desperdicio. Estas eficiencias parecen depender más del desarrollo de medios no séricos ricos en nutrientes.

Otra aplicación potencial de la producción de carne sintética es el reemplazo de carnes exóticas. El comercio mundial de carnes de animales raros y en peligro de extinción ha reducido las poblaciones silvestres de muchas especies. En teoría, las

células de animales cautivos raros o en peligro de extinción (o incluso células de muestras de animales extintos) podrían usarse para producir carnes exóticas *in vitro*.

Si bien el valor económico preciso de las células recolectadas aún no ha sido determinado, el potencial de cosechar grandes cantidades de células de un pequeño número de animales donantes ofrece la posibilidad de obtener mayores rendimientos por animal que la agricultura tradicional. Este nivel de rentabilidad podría ser una alternativa viable a la agricultura producción intensiva que se practica en las operaciones intensivas de ganado.

La carne cultivada también podría proporcionar nuevas oportunidades en la utilización de las razas de ganado nativas tradicionales al apartarse de la selección genómica y fenotípica de alto rendimiento e hibridar estas razas con ganado más tradicional que puede prosperar en sistemas extensivos de baja densidad y bajos insumos. Los posibles beneficios derivados derivan del hecho de que los sistemas con bajo impacto tienen potencial de ser altamente rentables y podrían contribuir potencialmente a la retención de la genética de las razas tradicionales y a salvaguardar la biodiversidad. También se ha propuesto que la carne cultivada podría permitir más de la población mundial para tener un acceso constante a las proteínas. La carne cultivada tiene por objeto utilizar considerablemente menos animales que la agricultura convencional. Desde la perspectiva de la protección de los animales, esto podría beneficiar a los veganos, vegetarianos y a aquellos omnívoros concienzudos que se interesan en reducir su consumo de carne por razones éticas (Cartín-Rojas y Ortiz, 2018).

7. RIESGOS PARA LA SALUD DE LA CARNE SINTÉTICA

Para entender los posibles efectos potenciales de la MIV (maduración in vitro) sobre la salud de los consumidores, se deben primero analizar las áreas donde la carne de ganado crea problemas. La carne de ganado es una amenaza para la salud pública en virtud tanto de su sistema de producción como de su patrón de consumo. La producción de carne coloca en la salud una carga indirecta para la sociedad, dado que el consumo de carne se vincula con multitud de problemas relacionados con la salud.

Siegrist & Hartmann (2020) describen los efectos nocivos de la carne de ganado en la salud bajo dos categorías principales: a) composición de la carne; b) infección basada en alimentos de origen cárnico. En relación con la composición de la carne, por un lado este producto proporciona varias vitaminas y minerales esenciales, pero por otro lado, algunos de sus lípidos componentes como las grasas saturadas y el colesterol dietético aumentan el riesgo de enfermedades como la arterosclerosis. Diversos estudios han correlacionado el alto consumo de carne con elevados índices de enfermedades crónicas, en particular, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer que, eventualmente llevan a la morbilidad y mortalidad. Otros beneficios potenciales de los productos cárnicos cultivados que aún están en desarrollo es que poseen otras ventajas que los convierten en una alternativa atractiva a las formas actuales en que se cría el ganado y se colecta su carne. Dado que la carne sintética se cultiva en un ambiente cerrado y estéril, se necesitan menos antibióticos para mantener el producto libre de patógenos. También, en este sistema de producción el producto cárnico en sí no albergaría parásitos o patógenos transmitidos por los alimentos que pudieran representar un riesgo para la salud, a diferencia del ganado natural, por lo que, a diferencia de la carne convencional, las células musculares cultivadas pueden ser más seguras.

Hasta la fecha, no existen informes sobre el impacto en la salud o el medio ambiente de los productos cárnicos cultivados, pero esto obedece a que aun están

en una etapa experimental y su consumo no se ha extendido. Con base en el desconocimiento en las recientes investigaciones, la principal preocupación hacia la salud como resultado de ingerir los productos de biología sintética es que puedan añadir nuevas proteínas a los alimentos, y que esas nuevas proteínas pueden ser alergénicas. Otra posibilidad es que, con su alto nivel de multiplicación celular, es probable que ocurra cierta desregulación en las células cancerosas. Asimismo, el control de su composición nutricional aún no está claro, especialmente para los micronutrientes y el hierro. Por supuesto, es necesario entender los impactos a corto y largo plazo antes de que estos ingredientes y productos entren en el mercado o en el medio ambiente, si es que estos productos van a reemplazar a los productos animales. Por otra parte, se asume que los residuos producidos en el proceso se pueden gestionar e incluso reciclar mejor. En la actualidad, los medios de nutrientes utilizados para hacer crecer los tejidos cárnicos provienen del útero de las vacas paridas, pero el objetivo final es alimentar a los cultivos celulares con un medio derivado de fuentes vegetales, lo que podría reducir potencialmente el impacto ambiental de la producción de carne. A esto se suman otras ventajas bastante atractivas que incluyen: la cantidad reducida de espacio necesario para cultivar la carne, el liberar las tierras de cultivo para otros usos, y la capacidad de manipular el proceso de cultivo para crear materiales cárnicos híbridos y personalizados. En última instancia, la tecnología de la carne sintética puede abrir puertas a nuevas oportunidades, innovaciones y experiencias culinarias aún por ver (Cartín-Rojas y Ortiz, 2018).

Otro beneficio potencial es que la carne cultivada podría ser menos propensa al riesgo biológico y a las enfermedades a través de la producción estandarizada y mediante una producción adaptada que podría contribuir a mejorar la nutrición, la salud y el bienestar. Sin embargo, hay algunas áreas que se deben atender en torno a la inestabilidad genética de las múltiples divisiones celulares y los componentes de los medios; si bien este último no se consumirá, un análisis completo de la rastreabilidad de los componentes garantizaría la transparencia (Bhat *et al.*, 2019).

Tal vez lo más importante sea que la incidencia de enfermedades transmitidas por los alimentos podría reducirse significativamente. La posibilidad de contaminación de la carne sería menor debido a estrictas reglas de control de calidad, como las Buenas Prácticas de Fabricación, que son imposibles de introducir en las granjas de animales, mataderos o plantas empacadoras de carne modernas. Además, los riesgos de exposición a pesticidas, arsénico, dioxinas y hormonas asociados con la carne convencional podrían reducirse significativamente.

8. PERCEPCIÓN Y ACEPTACIÓN DE LOS CONSUMIDORES

De manera independiente al potencial que pueda poseer la carne cultivada para cumplir y enfrentar algunos de los desafíos que se asocian con la ganadería actual y con la producción animal, es necesario abordar la cuestión de su aceptación por el público en general y por los consumidores, si bien la aceptación de los consumidores de nuevos productos agroalimentarios se determina por numerosos criterios. Para complicar la cuestión, no está claro cómo se compararían las características nutricionales o estéticas de la carne cultivada con las de la carne convencional (Edelman *et al.*, 2005). El contenido de grasa y la textura de la carne contribuyen a su sabor, y estos también necesitarían ser controlados para hacer un sustituto convincente, incluso para las carnes procesadas. Si se incluyen andamios en el producto comestible, entonces la carne cultivada tendrá una densidad de proteína más baja, ya que el músculo esquelético se compone por solo un 2 por ciento de matriz extracelular (ECM) y contiene más fibras maduras que las contrapartes de ingeniería (Dennis, 2003).

Si se logra que la carne cultivada sea estéticamente aceptable, se podría atraer al creciente número de consumidores preocupados por la seguridad alimentaria, los efectos ambientales de la agricultura y el bienestar de los animales de granja. La carne cultivada también podría atraer a los consumidores interesados en adaptar las características estéticas y nutricionales de los alimentos a sus gustos individuales. Al mismo tiempo, existen varias barreras para la aceptación de la carne cultivada por parte de los consumidores (Verbeke *et al.*, 2015; Siegrist y Sütterlin, 2017)) El hecho de que la forma o estructura de la carne cultivada no se parezca a los músculos reales no debería representar un problema para los consumidores, ya que existe un mercado para productos cárnicos deshuesados y sin piel, así como carnes procesadas, como salchichas o hamburguesas. Sin embargo, la mayoría de las personas tiene una aversión intuitiva hacia los alimentos no naturales. Esta no es una aversión constante, ya que la mayoría consumen alimentos "no naturales" que no se pueden encontrar creciendo "en la naturaleza" y/o que son producto de la

biotecnología como: pan, queso, mantequilla, yogur y vino; pero la artificialidad de estos productos resulta más familiar que la carne cultivada.

Verbeke *et al.* (2015) consideran que el primer conjunto de factores determinantes de la aceptación o el rechazo incluye los beneficios y riesgos personales y sociales percibidos de la tecnología, así como las diferencias percibidas en cuanto a quién eventualmente se beneficia, y quien soporta los riesgos asociados con la tecnología y sus productos finales. Por lo tanto, el desafío consiste en identificar los beneficios reales y percibidos y los riesgos de la carne cultivada (y su tecnología de producción), así como en proporcionar transparencia.

Un segundo conjunto de factores determinantes de la aceptación del consumidor o el rechazo se relaciona con la tecnología en sí misma. Las percepciones relacionadas con la tecnología pertenecen al conocimiento científico percibido como incertidumbre, percibiendo la controlabilidad de los procesos tecnológicos (por ejemplo, la calidad, control y vigilancia de la seguridad de los cultivos de células y tejidos), y la naturalidad percibida de la tecnología y el producto. La naturalidad percibida de los alimentos y las tecnologías de producción de alimentos influye fuertemente en la aceptación de tecnologías alimentarias innovadoras (Verbeke *et al.*, 2015).

Siegrist y Hartmann (2020) en una encuesta por Internet en diez países (Australia, China, Inglaterra, Francia, Alemania, México, Sudáfrica, España, Suecia y EE. UU.) encontraron que existen grandes diferencias culturales con respecto a la aceptación de la carne cultivada. Los consumidores franceses aceptaron significativamente menos la idea que los consumidores de todos los demás países. La naturalidad percibida y el disgusto que evoca la carne cultivada fueron factores importantes en la aceptación de esta nueva tecnología alimentaria en todos los países. La confianza en la industria alimentaria, la neofobia alimentaria y la sensibilidad al disgusto por los alimentos influyeron de forma directa e indirecta en la aceptación de la carne cultivada en casi todos los países. Para aumentar la aceptación de la carne cultivada, es necesario enfatizar la similitud de la carne

cultivada con la carne tradicional en lugar del proceso de producción bastante técnico, que puede evocar asociaciones de antinaturalidad y repugnancia.

La aceptación sostenible de la carne cultivada por parte de los consumidores dependerá de las expectativas relacionadas con el producto y del rendimiento experimentado en el uso del producto. Además de percepciones sobre cómo se ha elaborado el producto. Cuando este se concluya, se evaluará en términos de atributos que proporcionen a los consumidores beneficios relevantes que a la larga produzcan satisfacción y una posible repetición de la compra. Como con cualquier producto alimenticio y, si se les informa adecuadamente, los consumidores no estarán dispuestos a comprometer su seguridad alimentaria. Las expectativas en términos de sabor, salud, asequibilidad y sostenibilidad también tienen que ser satisfechos (Verbeke *et al.*, 2015; Bryant y Barnett, 2018).

Los estudios sobre las reacciones de los consumidores al concepto de carne cultivada son todavía muy escasos en este momento. Siegrist y Sütterlin (2017) informan el resultado de un sondeo exploratorio en el que la reacción de los consumidores potenciales de la carne cultivada fue principalmente de repulsión debido a las asociaciones con el posible uso de aditivos desagradables en un entorno de laboratorio. Incluso si los consumidores estuvieran dispuestos a probar este novedoso producto, tal voluntad no revela mucho sobre la probabilidad de que se repita la compra o de que se produzca un cambio de hábitos alimenticios. El degustar los productos cárnicos puede cambiar las percepciones de calidad e influir en la formación de las futuras intenciones de compra, en particular en los casos en que las expectativas positivas no se confirmaron durante el juicio (Yahya y Ariffin, 2020).

Verbeke *et al.* (2015) argumentan que, debido a la falta de experiencia con el producto hasta ahora, se puede esperar que los consumidores formen sus expectativas con base en la información recibida (por ejemplo, la cobertura de los medios de comunicación) y en la transferencia de imágenes de las tecnologías y productos más conocidos. El posicionamiento de la carne cultivada como un sustituto o complemento de la carne convencional será muy importante porque es probable

que, cuando los consumidores se formen expectativas relacionadas con el nuevo producto tomen como referencia a los productos con un posicionamiento similar en el mercado.

En un estudio con participantes de diferentes países europeos que exploró el sentido público en torno a la carne cultivada, Baht *et al.* (2015) comprobaron que los consumidores planteaban muchas preguntas sobre cuestiones como: la seguridad del producto, el contenido nutricional, el precio, los procedimientos tecnológicos y científicos, y mostraban incertidumbre sobre las implicaciones sociales, económicas y culturales de la producción ganadera y las agroindustrias actuales. Estas preguntas englobaban tanto preocupaciones como curiosidad. No obstante, un estudio cuantitativo en los Países Bajos realizado en febrero de 2013 (por lo tanto, antes del anuncio en agosto de 2013 de las hamburguesas cultivadas) con unos 1 300 participantes, mostró que la mayoría de las personas (79%) nunca había oído hablar de las hamburguesas cultivadas. Unos pocos habían oido hablar de ellas y solo el 14% sabían de qué es lo que se trataba (Verbeke *et al.*, 2015). Después de explicar la técnica y las posibles ventajas y desventajas asociados con la producción de carne cultivada, casi dos tercios (63%) apoyaron la idea de producir carne cultivada. Más que la mitad de los participantes (52%) en ese estudio afirmaron estar dispuestos a probar la carne cultivada, mientras que casi un cuarto expresó dudas (23%), y otro cuarto informó que ellos nunca quisieran probarla.

La probabilidad de que la carne sintética tenga éxito en el mercado va a depender de la aceptación por parte de los consumidores de este tipo de productos. En principio, se asume que la comida sintética debe imitar el sabor de los productos que los consumidores están acostumbrados a consumir, pero el tema es más complejo (Bryant y Barnett, 2018). Se han realizado varios estudios sobre la percepción de los consumidores hacia la carne de laboratorio, fundamentalmente en Europa y en los Estados Unidos. Gaydhane *et al.* (2018) concluyen que la probabilidad de aceptación es mayor entre los hombres, los más jóvenes y aquellos con mayores niveles de educación y familiaridad con las nuevas tecnologías; sin embargo, esto puede ser un arma de doble filo, ya que no se descarta la idea de que

la manipulación de estos tejidos pueda tener ciertas repercusiones que propicien problemas, o incluso algún tipo de cáncer en quien lo consuma, y esta información solo será digerida por la población que este más informada. Se observan diferencias significativas en la aceptación en diferentes culturas, puesto que no todas ven con buenos ojos alimentarse con algo “que no tuvo un alma”, en particular en las culturas más arraigadas a costumbres ancestrales. Las objeciones al consumo potencial se concentran en su gusto y apariencia, el hecho de que no sea un producto natural, en qué medida el producto es inocuo para la salud y consideraciones éticas, ya que, por ahora, todo lo que sea natural está bien visto y es tendencia para los consumidores jóvenes. Los estudios muestran diferencias muy significativas, por lo cual hay un largo camino por recorrer aun para entender la motivación de los consumidores.

Con base en una encuesta realizada a 20,000 habitantes en 18 países de América Latina, la carne artificial es un invento positivo sólo para el 8% de los ciudadanos de la región y sólo 17 % de los *millenials* de Argentina estarían dispuestos a consumir este producto (Gauna y Pérez Filgueira, 2018). Esto significa que se debe trabajar más para que el mercado acepte este tipo de productos y no solo se vea como otra forma más de alimentación, sino que se genere la suficiente confianza para que se adquieran este u otros productos de la misma índole. Por ejemplo, en Reino Unido los esfuerzos se han enfocado en investigación alimentaria, en cambiar las preferencias del consumidor y la percepción pública, además de explorar la regulación, cuestiones éticas y de seguridad (Bhat *et al.*, 2015).

La carne sintética es una nueva tecnología alimentaria que promete producir carne de una manera más respetuosa con el medio ambiente y con los animales. Se realizó una encuesta por Internet en diez países (Australia, China, Inglaterra, Francia, Alemania, México, Sudáfrica, España, Suecia y EE. UU.) con una muestra total de 6128 participantes(Siegrist y Hartmann, 2020). Los resultados sugieren que existen grandes diferencias culturales con respecto a la aceptación de la carne cultivada. Por ejemplo, los consumidores franceses aceptaron significativamente menos la idea que los consumidores de todos los demás países. La naturalidad percibida y el disgusto que evoca la carne cultivada fueron factores importantes en la aceptación de esta

nueva tecnología alimentaria en todos los países. La confianza en la industria alimentaria, la neofobia alimentaria y la sensibilidad al disgusto por los alimentos influyeron de forma directa e indirecta en la aceptación de la carne cultivada en casi todos los países. Siegrist y Hartmann (2020) concluyen que para aumentar la aceptación de la carne cultivada, es necesario enfatizar la similitud de la carne cultivada con la carne tradicional, en lugar de centrarse en el proceso de producción bastante técnico, mismo que puede evocar asociaciones de antinaturalidad y repugnancia

Richter (2019) considera que es de esperar que la popularidad de los análogos de la carne entre en auge dado que un número creciente de consumidores busca alternativas proteicas y alimentos sostenibles. En particular, Alemania, Francia, los Países Bajos, el Reino Unido, Italia y Suecia son los principales países en investigación y desarrollo de proteínas cárnicas alternativas y Europa domina el mercado mundial de sucedáneos de la carne. Se considera que la llamada carne "sin carne" va a romper el mercado en los próximos años debido a que las grandes empresas están ansiosas por expandir su participación de mercado a medida que aumenta la demanda de alternativas a la carne. La predicción de alternativas a base de plantas podría crecer una tasa de crecimiento anual compuesta del 10% para 2029, que equivale a USD\$ 1.4 billones, según la estimación de las ventas de sustitutos de la carne en 2018 en los EE. UU., Reino Unido, Alemania, Italia, Francia, Holanda, Suecia y Bélgica, lo que representa un 10% del mercado global de la industria de la carne.

Bryant *et al.* (2019) opinan que, en la actualidad, el mercado de sustitutos de la carne muestra un panorama competitivo debido a la presencia de numerosos pequeños actores. La mayor parte de la industria de productos cárnicos de origen vegetal se concentra predominantemente en los países occidentales, pero la aceptación hacia nuevos alimentos aumentará con el tiempo, a medida que los consumidores se familiaricen con los productos. El cambio hacia alternativas al consumo de carne se ve impulsado no solo por dietas saludables, sino también por la creciente información sobre fuentes de alimentos, los problemas de bienestar animal

y el impacto en el medio ambiente (Wild *et al.*, 2014). Por lo tanto, los países asiáticos también podrían ser mercado de referencia en el futuro para exportar productos análogos de la carne. Además, según la FAO (2011), el consumo de carne de origen vegetal en los países en desarrollo sigue aumentando y se espera que se incremente hasta un 73% para 2050.

Numerosos investigadores han considerado diferentes cuestiones relacionadas con la carne cultivada (Bryant y Barnett, 2018). Al estudiar el potencial de la carne cultivada en comparación con la carne convencional, Hocquette *et al.* (2013) destacaron varias limitaciones, como las sociales, económicas y técnicas, incluida la aceptación incierta por parte de los consumidores. Mattick y Allenby (2012), por otro lado, estudiaron las consecuencias de un cambio potencial de la ganadería a la carne cultivada. Goodwin y Shoulders (2013) destacaron la cobertura mediática de este nuevo producto, informando que entre 2005 y 2011 este nuevo producto ha sido noticia en términos de historia, beneficios, tiempo, proceso y problemas asociados a la ganadería por varias fuentes que eran en su mayoría defensores de esta nueva tecnología.

Al cubrir la cobertura de los medios del evento de degustación de hamburguesas de carne cultivada de 2013 en Londres, Hopkins (2015) caracterizó el énfasis excesivo de la cobertura y la duración de la cobertura, particularmente en los Estados Unidos, Canadá y el Reino Unido. El documento argumentó que al exagerar la aceptación de este producto entre los vegetarianos, los medios occidentales no dan una imagen clara de los obstáculos que se encuentran en el camino de la aceptación de la carne cultivada. Al discutir los desafíos tecnológicos futuros, Post (2014) señaló que las percepciones públicas en su mayoría permanecen sin estudiar y son desconocidas. Verbeke *et al.* (2015b) estudiaron la formación de actitudes y la reacción de los consumidores a la carne cultivada e informaron que las reacciones iniciales estaban respaldadas por consideraciones de antinaturalidad y sentimientos de disgusto al aprender sobre la carne *in vitro*.

Siegrist *et al.* (2018) estudiaron el impacto de la naturalidad percibida y el disgusto en la aceptación de la carne cultivada por parte de los consumidores e

informaron un bajo nivel de aceptación de los participantes porque se percibe como antinatural. El estudio informó que la percepción de los participantes está muy influido por cómo se describe este nuevo producto. Para incrementar la aceptación del producto, los autores enfatizaron que es importante explicar, etiquetar e introducir la carne cultivada de manera no técnica, dando más importancia al producto que al método de producción. El estudio sugirió que las diferencias entre los dos métodos de producción no se deben resaltar, sino que se deben enfatizarse las similitudes entre la carne cultivada y la carne convencional. Van der Weele y Tramper (2014) informaron que los métodos de producción a pequeña escala podrían ser particularmente útiles para reducir la falta de naturalidad asociada con la carne cultivada al permitir un contacto cercano con animales donantes de células y, por lo tanto, ayudar a revertir los sentimientos de alienación.

Bekker *et al.* (2017a) señalan que el tejido comestible que proviene de las especies animales es lo que la gente esencialmente llama carne, y que los límites simbólicos y las prácticas sociales determinarán la facilidad con la que el concepto de carne se extenderá para incluir la carne cultivada. Debido a que la actitud de los consumidores influye en sus elecciones de los productos, las actitudes de los consumidores hacia la carne cultivada serán fundamentales para decidir el éxito y la aceptabilidad de este nuevo producto (Datar y Betti, 2010). Para el éxito comercial de este nuevo producto, la información basada en el contenido puede jugar un papel importante e influir en la actitud de las personas (Bekker *et al.*, 2017b). Aunque el éxito comercial de la carne cultivada dependerá en gran medida de cómo los clientes vean este nuevo producto en relación con la carne tradicional (Bekker *et al.*, 2017a), la información sobre un producto sostenible percibido positivamente y la sostenibilidad de la carne cultivada podría contribuir a su aceptación y éxito comercial (Bekker *et al.*, 2017b).

Es cierto que parte del público potencial ha mostrado un interés por el potencial de la carne cultivada como un posible reemplazo de la producción animal, pero investigaciones recientes han arrojado resultados mixtos sobre el tamaño del mercado potencial para este nuevo producto. Bekker *et al.* (2017a) identificaron una

opinión general positiva de los consumidores hacia la carne cultivada. De igual forma, en otro estudio, el 91% de los encuestados aceptó la idea de probar este nuevo producto (Verbeke *et al.*, 2015a). Sin embargo, los estudios realizados por Hocquette *et al.* (2015), Siegrist y Sutterlin (2017) y Verbeke *et al.* (2015b) son menos optimistas sobre el mercado potencial de este novedoso producto. Hocquette *et al.* (2015) informaron en su estudio que la mayoría de los consumidores educados (científicos y estudiantes) no creían que la carne cultivada sea una solución para los problemas asociados con la industria cárnica y que no será aceptada por los consumidores en el futuro. Aunque la carne cultivada ofrece varios beneficios sobre la carne convencional, su asociación con la falta de naturalidad afectará su aceptación y enfatizar los beneficios del método de producción puede ser insuficiente para aumentar la aceptación por parte de los consumidores (Siegrist & Sutterlin, 2017).

Slade (2018) efectuó un experimento de elección hipotética y solo el 11% de los encuestados optaron por comprar la hamburguesa a base de carne cultivada cuando los precios eran iguales y las hamburguesas tenían el mismo sabor. Casi dos tercios (65%) de los encuestados optaron por comprar una hamburguesa de ternera convencional. El estudio también reveló que la demanda de carne cultivada es sensible al precio, ya que un aumento de 1 \$ en el precio (precio base de 4 \$) resultó en un aumento del 6% en la participación de la carne de res regular. Incluso si los beneficios son mayores y los riesgos menores, las nuevas tecnologías alimentarias pueden enfrentar una falta de aceptación (Siegrist y Sutterlin, 2016; Siegrist *et al.*, 2016). Sin embargo, vale la pena mencionar aquí que las preferencias de los consumidores no son fijas y podrían modificarse con nueva información a través de campañas de mercadotecnia o por normas sociales (Bekker *et al.*, 2017b). Marcu *et al.* (2014) añaden además que la investigación sobre la comprensión pública de la tecnología debe cultivar un clima de pensamiento activo y debe fomentar el cuestionamiento durante el proceso de construcción de sentido para tratar de reducir el anclaje inútil.

Bryant y Barnett (2019) consideran que la carne *in vitro* cultivada a partir de células animales se acerca a la viabilidad comercial, aunque su aceptación por parte del consumidor es incierta y depende en parte de cómo se enmarque el producto. Para estudiar el efecto de diferentes nombres en las medidas de aceptación del consumidor, los 185 participantes fueron asignados a una de cuatro condiciones, en un diseño experimental en el que el nombre del producto fue designado como: "carne limpia", "carne cultivada", "carne libre de animales" o "carne cultivada en laboratorio". Los participantes asociaron palabras y medidas de sus actitudes e intenciones de comportamiento hacia el producto. Los resultados mostraron que aquellos en las condiciones de 'carne limpia' y 'carne libre de animales' tenían actitudes significativamente más positivas hacia la carne *in vitro* que aquellos en la condición de 'carne cultivada en laboratorio', y aquellos en la condición de 'carne limpia' tenían un comportamiento significativamente más positivo hacia la carne *in vitro*, en comparación con aquellos en la condición de 'carne cultivada en laboratorio'. En otra investigación parecida, Asioli *et al.* (2018) investigaron si el uso de diferentes nombres para la tecnología (cultivado, cultivado en laboratorio y artificial) afectaría las diferentes preferencias de los consumidores por el pollo *in-vitro* y su disposición a pagar. Se realizó un experimento de elección en línea en los Estados Unidos con 625 participantes. Los resultados muestran que, en promedio, los consumidores prefieren productos frescos de pechuga de pollo sin piel y sin hueso producidos con tecnología de carne convencional con información sobre antibióticos libres. Los consumidores tienden a rechazar en gran medida la tecnología *in-vitro*, con fuertes diferencias entre los nombres, pues el término "cultivado" fue menos desagradable que los términos "artificial" y "cultivado en laboratorio".

Bonny *et al.* (2015) especulan que los sustitutos de carnes elaboradas con proteínas de plantas y micoproteínas pueden llevar la carne convencional al segmento premium del mercado, y suministrar ellas el segmento barato y a granel del mercado. Con el tiempo, cuando la carne cultivada se desarrolle lo suficiente consideran que podrá entrar al mercado sin la complejidad de la competencia entre productos cárnicos.

9. ASPECTOS ÉTICOS Y LEGALES

En la actualidad, se percibe una fuerte preocupación por el manejo ético que se hace en los sistemas de producción de carne convencional. Se cuestiona el bienestar animal, el grado de contaminación que se provocada en el medio ambiente, así como la erosión, degradación y mal uso de las tierras asociadas con su manejo (Miño Campos, 2017).

9.1. BIENESTAR ANIMAL Y PREOCUPACIONES ÉTICAS

Una variable muy importante con relación a la promoción de la carne cultivada es que no es ético promover alimentos no saludables, aunque se crea que se cultivaran éticamente en el futuro. Existe un fuerte movimiento que está en contra a la publicidad de cosas que puedan tener un impacto negativo en la vida de los seres humanos y en su salud, como es el caso de la comida rápida en los niños o el consumo de cigarrillos por en los adultos (Bhat *et al.*, 2019). En este sentido, cada vez existe más evidencia que desaconseja el consumo de carne, en particular de carnes rojas procesadas. La promoción de la carne cultivada no solo mantiene a la carne como un elemento central en la dieta humana, también significaría aumentar y promover el consumo de carnes procesadas. Irónicamente, uno de los principales problemas éticos asociados con las tecnologías de producción de carne cultivada en la actualidad es el sufrimiento de los animales y su muerte, ya que los métodos actuales de producción implican la recolección de biopsias de células madre de animales donantes y el utilizar medios de cultivo basados en el suero de fetos bovinos, a partir de la sangre de estos fetos que se obtiene de las vacas preñadas que van al sacrificio (Kadim *et al.*, 2015). Aunque se asume que tales biopsias en estos animales es algo indoloro, la investigación por obtener un medio de crecimiento libre de animales continúa, y la realidad del momento es que la carne producida en los laboratorios y no se han liberado todavía de todas las vicisitudes de los animales (Schaefer y Savulescu, 2014).

Por otro lado, si se afirma que la carne cultivada es una necesidad para alimentar a la población mundial en el futuro de una manera ética, sería poco ético

desviar los recursos a un sistema que es menos eficiente que las plantas, en vez de simplemente desviar los nutrientes y los productos vegetales directamente para consumo humano, en lugar de utilizarlos para el cultivo de carne, lo cual resultaría más eficaz para evitar la extendida hambruna en el futuro (Milburn, 2016).

Las prácticas como el pastoreo de los animales en espacios confinados en condiciones incómodos, la manipulación brusca, el transporte a larga distancia sin alimentos ni agua adecuados, las lesiones debidas a rampas y corrales mal diseñados, el hacinamiento y la exposición a condiciones climáticas extremas infligen una brutalidad extrema a los animales (Tucker *et al.*, 2015). En el caso de las aves de postura, las gallinas se mantienen en jaulas en batería y varias otras aves también se mantienen en jaulas estrechas de alambre, lo que causa privaciones, crea dificultades endémicas a su bienestar y origina múltiples formas de lesiones debido a la malla metálica del piso de la jaula (Janczak y Riber, 2015). Al igual que las aves, los cerdos también se crían en unidades en gran escala con un proceso industrial, de lo que resulta que en algunos países como Holanda el número de unidades de producción se ha reducido a la mitad, en tanto que la población animal se ha duplicado (Driessen y Korthals, 2012). Tanto los cerdos como los pollos de engorda se han seleccionado para convertir eficientemente el alimento en carne, de modo que inviertan menos energía en comportamientos y características corporales superfluos.

Las preocupaciones éticas vinculadas al sistema de producción de carne convencional siguen apareciendo en los medios de comunicación y gran proporción de la población occidental se opone a la forma en que se produce tradicionalmente la carne; existe además desde hace tiempo una opinión unánime de la gente sobre que el sufrimiento animal es un mal (Simonsen, 2015), por lo que resulta comprensible la búsqueda de alternativas más respetuosas con los animales que hagan que la carne cultivada, si se comercializa de forma efectiva, sea una opción adecuada para los consumidores en el futuro (Miller, 2012). Cuando la obtención de carne en sí implica un asesinato, la preocupación por el bienestar de los animales es inevitable y se convierte en una seria preocupación humana (Stephens *et al.*, 2018). En

consecuencia, Gaydhane *et al.* (2018) consideran que el desarrollo de carne sintética parece ser más una cuestión de atracción moral más que de empuje tecnológico, ya que para la mayoría de la gente, la característica más atractiva de la carne cultivada es su promesa moral para los animales. Por lo tanto, las organizaciones protectoras de los animales como PETA (Personas por el Trato Ético de los Animales) acogen con agrado la idea de la carne cultivada (Siegrist & Hartmann, 2020).

Entre las personas que apoyan descaradamente comer carne y las que adoptan el vegetarianismo moral, se encuentran varias personas que son incómodamente carnívoras y que vagamente desean ser vegetarianas (Stephens, 2010). En principio, al oponerse al sufrimiento de los animales pueden ignorarlo en la práctica, y confiar en la desconexión visual entre la carne del supermercado y las prácticas en el matadero, para no desencadenar sus emociones morales. Pero, ¿qué pasaría si se pudiera tener lo mejor de ambos mundos en la realidad: comer carne y no dañar a los animales? La naciente biotecnología del cultivo de tejidos, originalmente investigada para aplicaciones médicas, ofrece tal promesa. La carne se puede cultivar *in vitro* sin matar animales. De hecho, esta tecnología puede no ser solo una opción intrigante, sino que podría ser una obligación moral a desarrollar (Hopkins y Dacey, 2008).

Otro de los problemas asociados con la producción de carne cultivada son su percepción de anti-naturalidad, lo que puede abrir la puerta al canibalismo (Milburn, 2016), aumentar dependencia de las corporaciones mundiales de alimentos y disminuir la autosuficiencia local (Bhat *et al.*, 2019). Además, antes de su consumo, el tejido de la carne debe morir porque su fuente de nutrientes sería eliminada. Finalmente, entre todas las cuestiones que se discuten alrededor del estado nebuloso de la carne cultivada, las autoridades religiosas todavía debaten la cuestión de si la carne *in vitro* es Kosher o Halal (esto es, si cumple con las leyes dietéticas judías o islámicas) (Chriki y Hocquette, 2020).

Lo que sí es un hecho es que consumir demasiada carne no es bueno para las personas ni para el planeta, de modo que cualquier alternativa más saludable es

bienvenida, pero no se debemos olvidar que muchas de ellas incluyen alimentos hiperprocesados que entrañan un riesgo.

9.2. SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE

En términos de sostenibilidad, la producción de carne ha impulsado el cambio ambiental y el agotamiento de los recursos naturales. La industria ganadera requiere aproximadamente un 40% de tierra cultivable, un 14,5% de emisiones de gases de efecto invernadero, un 36% de las calorías producidas por los cultivos y un 29% Del agua dulce utilizada para la agricultura, respectivamente (Gerber *et al.*, 2013; Mottet *et al.*, 2017). Para reducir drásticamente el ya insostenible en el sector ganadero, se necesita que en promedio, el ciudadano global coma 75% menos carne roja Springmann *et al.*, 2018).

En cuanto a los temas ambientales, las posibles ventajas de la carne cultivada para las emisiones de gases de efecto invernadero son una cuestión controversial, aunque parece ser un hecho que se utilizaría menos tierra en comparación con el ganado, los rumiantes en especial. Sin embargo, es necesario tener en cuenta más criterios para una comparación con producción real con la carne convencional. Además, la carne cultivada tendrá que competir con otros sustitutos de la carne, en especial con las alternativas a base de plantas ya existentes (Chriki y Hocquette, 2020).

En el ganado tradicional, sólo entre el 5% y el 25% del animal se procesa como carne comestible, lo que da lugar a una baja tasa de conversión para la producción de carne convencional (Sun *et al.*, 2020). Esto conlleva una serie de problemas con una parte considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de la tierra y el consumo de agua y energía (Zhang *et al.*, 2020). En comparación con la mayoría de los sistemas europeos de ganadería de carne producidos convencionalmente, se ha indicado que la carne cultivada implica aproximadamente un 78%-96% menos de emisiones de gases de efecto invernadero, un 99% menos de uso de la tierra y un 82%-96% menos de uso de agua.

La carne cultivada es potencialmente un medio sostenible y ecológico de producir carne para aliviar el estrés de una población en aumento y la demanda de carne, ya que puede obtenerse sin necesidad de desarrollar otros tejidos de apoyo y estructuras funcionales como los sistemas esquelético y digestivo, una vez que la tecnología esté adecuadamente avanzada. A pesar de la temprana etapa de desarrollo con desafíos técnicos y aceptación de los consumidores, como la falta de métodos económicos y recursos-eficientes para la ampliación de la escala, se especula que el balance energético general se inclinará a favor de la carne cultivada cuando se tengan en cuenta los costos indirectos y ambientales (Hocquette 2015). La idea detrás de todo esto es reestablecer el equilibrio en la naturaleza. Se cree que si se ahorra una gran cantidad de agua, tierra y reducción de emisión de gases de efecto invernadero puede devolvérsele a la tierra los recursos suficientes para seguir sosteniéndola.

Sun *et al.* (2015) compararon los impactos ambientales de producir diferentes fuentes de proteínas para la nutrición, incluidos cultivos, productos pecuarios y carne cultivada. Los resultados mostraron que la carne cultivada tiene el menor uso de la tierra por unidad de proteína y unidad de energía digestible humana, por lo que el impacto general de reemplazar los productos pecuarios con carne cultivada sería beneficioso para el medio ambiente de China y potencialmente mejoraría la seguridad alimentaria porque se necesita menos tierra para producir la misma cantidad de proteínas y energía.

9.3. EL COSTO DE LA CARNE SINTÉTICA

Probablemente, el mayor obstáculo para la adopción general de la carne cultivada sea su costo inicial. Aunque los costos nutricionales y energéticos de la carne cultivada son en teoría más bajos que los de la carne convencional, no está claro cómo se traducirían en ahorros económicos. La biotecnología, el cultivo de tejidos y otras áreas científicas se han desarrollado en los últimos años, pero su uso resulta costoso y limitado aun en los países en desarrollo. El enfrentar las demandas antes mencionadas requiere un desarrollo intensivo de las prácticas de producción animal y

vegetal al igual que una fuerte inversión económica para reducir los costos de producción y ampliar la escala en que se realizan.

Ante la creciente demanda mundial de proteínas de consumo, la investigación en torno a la carne *in vitro* ha generado mucha expectativas en los últimos años, de tal manera que, aquello que comenzó en el 2013 con una hamburguesa con un costo de producción de USD\$ 2.3 millones el kilogramo, para 2019 logró reducir el costo a USD\$ 20,000-40,000 el kilogramo. En otros términos, el intento inicial por producir carne para hamburguesa *in vitro* resultó con un costo aproximado de USD\$ 325,000 dólares; sin embargo, los estudios sobre la producción de carne de las compañías especializadas han avanzado y ahora es posible producir una hamburguesa en USD\$ 100. Pese a la reducción tan marcada, el precio aún sigue siendo la principal causa por la cual este producto aun esté fuera del alcance del mercado. Este precio aún es bastante alto si se considera que en los países en vías de desarrollo el costo de una hamburguesa oscila entre USD\$ 1 y 3 (Chriki y Hocquette, 2020; Faustman *et al.*, 2020).

El costo de producción es hasta ahora una seria limitante si se considera que las tres hamburguesas de res que se han obtenido se lograron mediante el cultivo de células satelitales de tejido muscular bovino, pero el proceso se realizó cosechando cada fibra muscular de manera individual, en un proceso largo y costoso (un millón de euros). Sin embargo, el alto costo inicial de la carne cultivada deriva del hecho de que por ahora se requiere de una tonelada de este sustrato para poder producir 193 kg de carne. En la actualidad no es nada rentable producir carne sintética, ya que además de los altos costos, el nivel de aceptación no es el suficiente para abrir un mercado regular; sin embargo, se pueden aplicar estrategias de mercadotecnia que empiecen a invadir el pensamiento crítico de la población actual y vayan sembrando el gusto en las nuevas generaciones (Verbeke *et al.*, 2015a,b).

Specht (2020) sugiere que los medios necesarios para producir 1 kg de carne cultivada pueden alcanzar un costo tan bajo como USD\$ 5.00 (suponiendo que se necesitarán alrededor de 23 L), lo que está por debajo del costo promedio por kilogramo de la mayoría de la carne convencional. No obstante, esta estimación se

basa en muchos supuestos hipotéticos generales y debe interpretarse con cautela. Esta estimación también está muy por debajo de los precios actuales de los medios de cultivo comerciales, lo que indica la importancia crítica de un mayor desarrollo, incluso cuando se tienen en cuenta las economías de escala. Estas cifras consideran que la carne cultivada se medirá en términos de peso de células húmedas (producto), mientras que la mayoría de los productos de cultivo de células industriales existentes se miden en términos de peso de células secas. Por supuesto, el costo de los medios es solo uno de los componentes del costo total del producto que se debe considerar para llegar a un proceso y producto viable (O'Neill et al. 2021).

9.4. LEGISLACIÓN Y REGULACIONES

La implementación de leyes y regulaciones alimentarias es esencial para proteger la vida humana, la salud y los intereses de los consumidores, así como para garantizar prácticas leales en el comercio de alimentos. La seguridad de las nuevas sustancias así como de nuevos productos alimentarios es de suma importancia y la evaluación de la seguridad se aplica tanto a la naturaleza de las propias sustancias como a los procesos utilizados para producirlos. La biología sintética está avanzando tan meteóricamente, que los esquemas reglamentarios son difíciles de mantener. La nueva ola de ingeniería genética y de biología sintética está deslizándose a través de lagunas muy grandes. En la actualidad, la carne sintética no está autorizada ni en el marco regulatorio de la Unión Europea, ni en los Estados Unidos, donde tendrá que contar con la autorización de la Administración de Drogas y Medicamentos (FDA) y del Departamento de Agricultura. Probablemente, en torno a la carne de laboratorio, se requieran regular cuestiones como el abastecimiento celular, la seguridad en la ingestión de nuevos materiales, los protocolos para prevenir y monitorear la contaminación, los requisitos para el manejo de desechos y la certificación e inspección de las instalaciones de producción.

La Unión Europea estableció tres principios de regulación para los nuevos alimentos establecidos: 1) seguro para los consumidores; 2) los productos novedosos deben estar debidamente etiquetados para evitar engañar a los

consumidores; y 3) los nuevos alimentos no deben ser desventajosos desde el punto de vista nutricional cuando estén destinados a reemplazar a otros (Froggatt y Wellesley, 2019).

Debido a que la tecnología que se utilizaría para producir carne sintética a escala comercial todavía está en fase de desarrollo, y como se ignora cuál va a ser la composición del producto final, la FDA y la USDA aun no definen la frecuencia con que se necesitan colectar muestras a partir de biopsias realizadas a los animales y de qué animales escogerán. También se desconoce si la tecnología de la ingeniería genética estará involucrada en los métodos de producción. Otras interrogantes incluyen el saber si se utilizarán antibióticos en esta producción celular y si se detectarán residuos de fármacos en el producto final, los medios que se emplearían para el crecimiento celular y cómo podría ello afectar al producto final, que estructuras o soportes temporales tendrán las células para crecer y formar tejidos y sobre cómo se planea efectuar la producción comercial a gran escala, ya que estas empresas necesitan biorreactores de mayor tamaño de los disponibles en la actualidad, lo que obligaría a desarrollar nuevos sistemas sobre los que no se ha informado y que deberán estar sujetos a una regulación. Asimismo, existen dudas relativas a qué contendrán los productos que se pongan a disposición del consumidor, y cómo va a impactar la carne cultivada en el medioambiente, el bienestar animal y la salud humana.

En marzo de 2019, el USDA y la FDA llegaron a un acuerdo sobre las responsabilidades de cada agencia para regular la carne a base de células. En resumen, la FDA supervisará la recolección de células y el desarrollo de células para recolectar, en tanto que el USDA será responsable de regular la fabricación y el etiquetado de productos alimenticios derivados de las células (USDA, 2019), aunque todavía no está claro lo que eso significa en la práctica. No obstante, de acuerdo con las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina, los productos cárnicos a base de células pueden ubicarse dentro de un grupo amplio y variado de productos biotecnológicos que tienen el potencial de abrumar el sistema regulatorio de los Estados Unidos (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017).

Penn (2018) observa que dado que la carne cultivada sería un producto final, por lo tanto, requeriría inspección certificación para su seguridad. Por otro lado, Los tribunales en los Estados Unidos han establecido que las sustancias utilizadas por sus efectos sobre otras se clasifican como aditivos alimentarios; en general, este no sería el caso de la carne a base de célula, por lo que se tendría que identificar como alimento, aunque todavía no está claro cómo se regularía la inclusión de sustancias químicas necesarias para la ingeniería de tejidos. En los Estados Unidos, las leyes de etiquetado de organismos genéticamente modificados no se aplican a los productos elaborados con biología sintética, lo que dificulta que, en el futuro, los consumidores puedan tomar decisiones informadas.

Michael y Fasano (2020) resumieron recientemente los componentes esenciales de ese acuerdo y señalaron que solo "se aplica a células extraídas de animales que ya están bajo la jurisdicción del USDA-FSIS: ganado, aves de corral y peces del orden Siluriformes". La carne de caza es supervisada solo por la FDA y presumiblemente, las células obtenidas de estas especies solo estarían sujetas a la autoridad reguladora de esa agencia. No se prevé que se requiera legislación adicional para acomodar la introducción de carnes a base de células en el sistema alimentario de los Estados Unidos por ninguna agencia.

El etiquetado será responsabilidad del USDA y quedan por determinar las condiciones bajo las cuales la carne basada en células podría identificarse como orgánica o natural. En la actualidad, y según la información pública disponible hasta la fecha, la carne a base de células no se consideraría una sustancia modificada genéticamente y, por lo tanto, no se aplicaría la definición de alimentos modificados por ingeniería genética del USDA y el etiquetado requerido (Johnson, 2019). Sin embargo, una posible ventaja futura de las carnes a base de células sería la oportunidad de diseñar productos con características nutricionales específicas que normalmente no son posibles con los enfoques de alimentación animal.

En el resto de los países, además de las leyes nacionales, la industria agroalimentaria sigue las directrices de la Organización Mundial de la Salud en materia de seguridad de la salud, así como otras reglamentaciones internacionales,

en particular, el Codex Alimentarius. Pero esa orientación se actualiza cada cinco años, por lo que puede haber un retraso antes de que se considere la tecnología más reciente. La Comisión del Codex Alimentarius es un organismo internacional de la FAO y la OMS relacionado con la protección de los consumidores y la inocuidad de los alimentos. En fechas recientes, ha adquirido gran importancia para los consumidores y los socios comerciales, en detrimento de los elementos relativos a la composición de las distintas normas para productos que ya no atraen la misma atención que antes (Tritscher *et al.*, 2013). Winickoff y Bushey (2010) consideran que la construcción mutua de una autoridad epistémica y legal en todas las organizaciones internacionales ha sido fundamental para constituir y estabilizar un régimen global para la regulación de la seguridad alimentaria, ya que para adoptar las normas del Codex, los países necesitan una legislación alimentaria adecuada, así como una estructura técnica y administrativa que permita su aplicación y garantice su cumplimiento. Las actividades del Codex en el futuro diferirán considerablemente de las que se han venido realizando durante muchos años. Así, la aplicación de la biotecnología a la elaboración de alimentos y a la producción de materias primas alimenticias está siendo analizada ya por la Comisión, que revisa continuamente nuevos conceptos y sistemas asociados con la inocuidad de los alimentos y la protección de los consumidores contra los peligros para la salud.

10. PAPEL POTENCIAL DEL LICENCIADO EN AGRONEGOCIOS INTERNACIONALES

El licenciado en agronegocios internacionales es un profesional con la preparación necesaria para coadyuvar al fortalecimiento de las empresas dedicadas a la producción, procesamiento, transformación, distribución y comercialización nacional e internacional de productos del sector agropecuario (Vázquez-Selem *et al.*, 2013). El camino que falta por recorrer en investigación y desarrollo para asegurar la producción de carne sintética es todavía largo y difícil. En términos de problemas técnicos, todavía se requiere investigación para optimizar la metodología de cultivo celular. También es casi imposible reproducir por ahora la diversidad de carnes derivadas de diversas especies, razas y cortes (Chriki y Hocquette, 2020). No obstante, se puede predecir que en el mediano y largo plazo, el consumo de carne sintética será un hecho común, sobre todo en países en desarrollo, ya que, aunque por ahora el costo de producción es alto, las investigaciones se enfocándose en obtener este tipo de alimento de una manera más rápida, con costos relativamente bajos y sobre todo que cubran con los requerimientos nutricionales y organolépticos.

Una gran proporción de los consumidores parece no gustar de los alimentos no naturales, pero no se debe olvidar que la aceptación del consumidor está fuertemente influida por muchos factores y que la carne cultivada éticamente tiene como objetivo utilizar considerablemente menos animales que la ganadería convencional (Orzechowski, 2015). Sin embargo, algunos animales todavía tendrán que criarse para recolectar células para la producción de carne *in vitro*. Algunos términos como agroindustria especializada en producción de carne hoy pueden sonar descabellado, sin embargo, la tendencia de crecimiento es cada vez más alta y no podemos negar que llegara un punto en el que los sectores agropecuarios no se den abasto y es aquí donde este tipo de industrias podrán emplear la cadena de suministros. En este punto, la presencia del licenciado en agronegocios internacionales será importante pues se pueden fortalecer las cadenas y empresas dedicadas a la producción de alimentos sintéticos, dándole calidad y valor agregado a los productos y al desarrollar el gran potencial que tienen las empresas creadoras

de carne *in vitro*. Se puede alcanzar la capacidad de ser altamente competitivos dentro de las condiciones, ideologías y costumbres globales existentes que se imponen en el presente, pero deben visualizarse los escenarios que es más probable predominen en el futuro y hacer los ajustes necesarios en forma anticipada. Entre esto se considera puede estar el cumplir con la satisfacción de las necesidades de los consumidores y la demanda mundial, sin dejar atrás los estándares de sanidad e inocuidad y crear una relación entre los clientes y los alimentos que fomente manera la adaptación al cambio y a las nuevas tecnologías, gracias a las habilidades de liderazgo. En este contexto, el licenciado en agronegocios internacionales puede identificar los problemas y detectar las oportunidades, para lo cual posee la capacidad de idear y elaborar e proyectos y planes de negocios donde se apliquen metodologías de análisis, estrategias de competitividad e integración para el análisis de problemas, para la toma de decisiones y para la implementación de soluciones. La habilidad combinar trabajo individual con el esfuerzo en equipo, aunado a las aptitudes y estrategias necesarias en cada caso puede ayudar al ingreso y aceptación de la carne *in vitro* en supermercados y tiendas especializadas.

Como Chriki y Hocquette (2020) señalan, los defensores de la carne sintética la presentan como una buena alternativa para los consumidores que quieren ser más responsables pero no desean cambiar su dieta, pero tal vez este tipo de agroindustrias no tenga un amplio impacto en países altamente desarrollados, donde no hay escasez y existe un alto poder adquisitivo; en cambio, las tendencias apuntan a que México podría ser una oportunidad para un agronegocio como este, dónde es necesario proporcionar una alimentación con menos grasas y mas proteína, existe una amplia oferta de productos alimenticios, un espíritu abierto a probar nuevas opciones dietéticas y dónde el poder adquisitivo del grueso de la población es menor que en los países más desarrollados. En una civilización que debe replantearse su consumo de carne antes de alcanzar su punto de colapso, quizá la carne que no es carne represente la oportunidad de salvar al planeta e incluso también a la humanidad.

CONCLUSIONES

El primer objetivo específico fue: “*revisar los aspectos técnicos de la producción de la carne sintética, sus posibles beneficios y riesgos, la percepción y aceptación de los consumidores, y los aspectos éticos y legales*”. Al respecto, el grueso del presente documento constó de una revisión de literatura de un centenar de documentos, cuyo mayor volumen lo constituyen artículos científicos relacionados con el tema publicados en os últimos años.

En relación al segundo objetivo·específico: “*examinar el potencial que tiene la producción de alimentos sintéticos para los agronegocios*”, la apreciación es que la participación que los profesionales de los agronegocios tendrán en la producción de alimentos sintéticos será escasa en un horizonte temporal cercano, pues aún restan varios aspectos técnicos por resolver para producir carne sintética en forma comercial masiva, en particular en relación con la producción a escala industrial, de modo que la mayor parte del mercado de carne actual no se verá afectado en el corto plazo. No obstante, antes de concluir el siglo exista la posibilidad de que la carne sintética adquiera mayor viabilidad y sea una realidad. Si bien el mercado de consumo está cambiando constantemente hacia productos de origen natural, las crecientes preocupaciones ambientales y los desafíos socioeconómicos globales pueden requerir que la industria alimentaria dependa en mayor grado de productos alimenticios sintéticos. A medida que se avanza hacia el futuro, una combinación de alimentos sintéticos y naturales seguirá siendo la base de la dieta humana.

Como resultado del cumplimiento de los objetivos previos, el objetivo general: *analizar la producción de alimentos sintéticos, su viabilidad y mercado, para poder definir su potencial dentro de los agronegocios en el siglo XXI*, también se cumple. Se percibe que un elemento crítico es el necesario cambio en la mentalidad de los consumidores para abrirse a nuevas formas y mecanismos de producción que proporcionen mayor eficiencia en la producción, o en su defecto, cuando la contaminación por efecto de los gases con efecto invernadero sea tan grande que la producción de carne sintética se considere prioritaria en el futuro.

LITERATURA CITADA

- Alcalde, M.J., Ripoll, G., & Panea, B. (2013) Consumer attitudes towards meat consumption in Spain with special reference to quality marks and kid meat. In: Klopčič M., Kuipers A., Hocquette JF. (eds) *Consumer attitudes to food quality products*. EAAP – European Federation of Animal Science, vol 133. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, pp 97-107. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-762-2_7
- Asioli, D., Bazzani, C. & Nayga, R.M. (2018). *Consumers' valuation for lab produced meat: an investigation of naming effects*. 2018 Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting, 6- 8 August 2018. Washington DC.: American Agricultural Economics Association. Available at <http://centaur.reading.ac.uk/85491/>
- Bakara, T.L.M. & Sihotang. U. (2019). Training of artificial meat processing from soybeans as a source of protein for women groups in Syahmad Village, Lubuk Pakam Sub-District. *Journal of Saintech Transfer*, 2(1), 55-63.
- Benjaminson, M., Gilchrist, J., & Lorenz, M. (2002). *In vitro* edible muscle protein production system (MPPS): stage 1, fish. *Acta Astronautica*, 51(12), 879-889. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(02\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00033-4)
- Bekker, G.A., Tobi, H. & Fischer, A.R.H. (2017a). Meet meat: An explorative study on meat and cultured meat as seen by Chinese, Ethiopians and Dutch. *Appetite*, 114, 82-92. DOI: [10.1016/j.appet.2017.03.009](https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.009)
- Bekker, G.A., Fischer, A.R.H., Tobi, H., & van Trijp, H.C.M. (2017b). Explicit and implicit attitude toward an emerging food technology: The case of cultured meat. *Appetite*, 108, 245- 254. DOI: [10.1016/j.appet.2016.10.002](https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.10.002)
- Bentzinger, C.F., Wang, Y.X. & Rudnicki, M.A. (2012). Building Muscle: Molecular Regulation of Myogenesis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 4(2). DOI: [10.1101/cshperspect.a008342](https://doi.org/10.1101/cshperspect.a008342)
- Bhat, Z.F., & Fayaz, H. (2011). Prospectus of cultured meat—advancing meat alternatives. *Journal of Food Science Technology*, 48(2), 125–140. DOI [10.1007/s13197-010-0198-7](https://doi.org/10.1007/s13197-010-0198-7)
- Bhat, Z.F., Kumar, S., & Fayaz, H. (2015). *In vitro* meat production: Challenges and benefits over conventional. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 241 - 248. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60887-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60887-X)
- Bhat, Z.F., Kumar, S., & Bhat, H.F. (2017). *In vitro* meat: A future animal-free harvest. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 782-789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.924899>
- Bhat, Z.F., Morton, J.D., Mason, S.L., Bekhit, A.E.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. [doi:10.1111/1541-4337.12473](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12473)

- Blanton, J.R., Grant, A.L., McFarland, D.C., Robinson, J.P., and Bidwell, C.A. (1999). Isolation of two populations of myoblasts from porcine skeletal muscle. *Muscle and Nerve*, 22(1), 43-50. DOI: [10.1002/\(sici\)1097-4598\(199901\)22:1<43::aid-mus8>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(199901)22:1<43::aid-mus8>3.0.co;2-0)
- Boland, T., Mironov, V., Gutowska, A., Roth, E., & Markwald, R. (2003). Cell and organ printing 2: Fusion of cell aggregates in three dimensional gels. *The Anatomical Record*, 272, 497–502. DOI: [10.1002/ar.a.10059](https://doi.org/10.1002/ar.a.10059)
- Bonny, S.P.F., Gardner, G.E., Pethick, D.W. & Hocquette, J.F. (2015). What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry? *Journal of Integrative Agriculture* 2015, 14(2): 255–263. doi: [10.1016/S2095-3119\(14\)60888-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60888-1)
- Bryant, C.J. & Barnett, J.C. (2018). Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. *Meat Science*, 143, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.008>
- Bryant, C.J., & Barnett, J. C. (2019). What's in a name? Consumer perceptions of in vitro meat under different names. *Appetite*, 137, 104 - 113. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.02.021>
- Bryant, C., Szejda K, Parekh N, Deshpande V, Tse B. (2019). A survey of consumer perceptions of plant-based and clean meat in the USA, India, and China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 11. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00011>
- Capper, J.L. (2011). The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, 89, 4249–4261. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3784>
- Cartín-Rojas, A. & Ortiz, P. (2018). Ventajas y desventajas del cultivo de carne *in vitro*: perspectivas desde la seguridad alimentaria. *Revista de Medicina Veterinaria*, 36, 135 - 144. doi: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.5179>
- Chiles, R.M. (2013). If they come, we will build it: in vitro meat and the discursive struggle over future agrofood expectations. *Agriculture and Human Values*, 30, 511–523. DOI [10.1007/s10460-013-9427-9](https://doi.org/10.1007/s10460-013-9427-9)
- Chiiki, S., & Hocquette, J.F. (2020). The Myth of Cultured Meat: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 7, 7 - 9. doi:[10.3389/fnut.2020.00011](https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00011)
- Chiiki, S., Ellies-Oury, M.P., Fournier, D., Liu, J. & Hocquette, J.F. (2020). Analysis of scientific and press articles related to cultured meat for a better understanding of its perception. *Frontiers in Psychology*, 11, 1845. doi: [10.3389/fpsyg.2020.01845](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01845)
- Datar, I. & Betti, M. (2010). Possibilities for an *in vitro* meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 13–22. DOI: [10.1016/j.ifset.2009.10.007](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.007)
- Dennis, R.G. (2003). Engineered Skeletal Muscle. In: Guilak, F. (ed.), *Functional Tissue Engineering*. New York: Springer. pp. 178-193.
- Dodson, M.V., Martin, E.L., Brannon, M.A., Mathison, B.A., and McFarland, D.C. (1987). Optimization of bovine satellite cell-derived myotube formation *in vitro*. *Tissue and Cell*, 19(2), 159-166. DOI: [10.1016/0040-8166\(87\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0040-8166(87)90001-2)

- Driessen, C. & Korthals. M. (2012). Pig towers and *in vitro* meat: Disclosing moral worlds by design. *Social Studies of Science*, 42(6) 797–820. DOI: [10.1177/0306312712457110](https://doi.org/10.1177/0306312712457110)
- 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. doi: [10.1089/ten.2005.11.659](https://doi.org/10.1089/ten.2005.11.659)
- EPA (2020). *Greenhouse Gas Reporting Program and the U.S. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgreporting/greenhouse-gas-reporting-program-and-us-inventory-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>
- FAO (2003). *World agriculture: towards 2015/2030*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from: <http://www.fao.org/3/y4252e/y4252e.pdf>
- FAO (2009). *How to feed the world in 2050*. High-Level Expert Forum. 12-13 October 2009. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- FAO (2011). *World Livestock: livestock in food security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from: <http://www.fao.org/docrep/014/i2373e/i2373e.pdf>
- FAO (2020). *Value of Agricultural Production*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>
- Faustman, C., Hamernik, D., Looper, M., & Zinn, S.A. (2020). Cell-based meat: the need to assess holistically. *Journal of Animal Science*, 98(8), 1-7. doi: [10.1093/jas/skaa177](https://doi.org/10.1093/jas/skaa177)
- FDA (2018). *Use of the term natural on food labeling*. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from: <https://www.fda.gov/food/food-labeling-nutrition/use-term-natural-food-labeling>
- Fegan, N. & Jenson, I. (2018). The role of meat in foodborne disease: Is there a coming revolution in risk assessment and management? *Meat Science*, 144, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.018>
- Florini, J.R., Magri, K.A., Ewton, D.Z., James, P.L., Grindstaff, K., & Rotwein, P.S. (1991). Spontaneous differentiation of skeletal myoblasts is dependent upon autocrine secretion of insulin-like growth factor-II. *Journal of Biological Chemistry*, 266(24), 15917-15923.
- Froggatt, A. & Wellesley, L. (2019). *Meat analogues-consideration for the EU*. Chatham House. Retrieved from: <https://www.chathamhouse.org/2019/02/meat-analogues>
- Fukase, E. & Martin, W. (2020). Economic growth, convergence, and world food demand and supply. *World Development*, 132, 104954. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104954>

- Garnett, T., Appleby, M.C., A Balmford, A. & Bateman, Ian J. (2013). Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science*, 341(6141):33-34. DOI:[10.1126/science.1234485](https://doi.org/10.1126/science.1234485)
- Gauna, D. & Pérez Filgueira, M. (2018). *Carne Sintética. 10 interrogantes en la era de la producción 4.0.* Informe. Buenos Aires: Instituto de Prospectiva y Políticas Públicas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/carne_sintetica.pdf
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
- GBD 2019 Viewpoint Collaborators (2020). Five insights from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*, 396(10258), 1135-1159. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31404-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31404-5)
- 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. doi: [10.1007/s40898-018-0005-1](https://doi.org/10.1007/s40898-018-0005-1)
- González, N., Marquès, M., Nadal, M. & Domingo, J.L. (2020). Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010–2020) evidences. *Food Research International*, 137, 109341. doi: [10.1016/j.foodres.2020.109341](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109341)
- Gonçalves-Tenório, A., Nunes Silva, B., Rodrigues,V., Cadavez, V. & Gonzales-Barron, U . (2018). Prevalence of pathogens in poultry meat: a meta-analysis of european published surveys. *Foods*, 7(5), 69. doi: [10.3390/foods7050069](https://doi.org/10.3390/foods7050069)
- Goodwin, J. N., & Shoulders, C. W. (2013). The future of meat: A qualitative analysis of cultured meat media coverage. *Meat Science*, 95, 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.027>
- Hawkins, L.K., Farrow, C. & Thomas, J.M. (2020). Do perceived norms of social media users' eating habits and preferences predict our own food consumption and BMI? *Appetite*, 149, 104611. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104611>
- Hoekstra, A.Y. & Mekonnen, M.M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- Hocquette, J.F. (2015). Is it possible to save the environment and satisfy consumers with artificial meat? *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 206-207. doi: [10.1016/S2095-3119\(14\)60875-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60875-3)
- Hocquette, J.F. (2016). Is *in vitro* meat the solution for the future? *Meat Science*, 120, 167–176. doi: [10.1016/j.meatsci.2016.04.036](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.036)
- Hocquette, J. F., Mainsant, P., Daudin, J. D., Cassar-Malek, I., Rémond, D., Doreau, M., . . . Picard, B. (2013). La viande du futur sera-t-elle produite *in vitro*? *INRA Productions Animales*, 26, 363–374. <https://doi.org/10.20870/productions-animaux.2013.26.4.3164>

- Hocquette, A., Lambert, C., Sinquin, C., Peterolff, L., Wagner, Z., Bonny, S.P.F., Lebert, A., & Hocquette, J.F. (2015). Educated consumers don't believe artificial meat is the solution to the problems with the meat industry. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 273-284. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60886-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60886-8)
- Hopkins, P.D. (2015). Cultured meat in western media: The disproportionate coverage of vegetarian reactions, demographic realities, and implications for cultured meat marketing. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 264–272. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60883-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60883-2)
- Hopkins, P.D. & Dacey, A. (2008). Vegetarian meat: could technology save animals and satisfy meat eaters? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21, 579–596. <https://doi.org/10.1007/s10806-008-9110-0>
- Janczak, A.M. & Riber, A.B. (2015). Review of rearing-related factors affecting the welfare of laying hens. *Poultry Science*, 94(7), 1454-1469. <https://doi.org/10.3382/ps/pev123>
- Jochems, C.E.A., van der Valk, J.B.F., Stafleu, F.R. & Baumans, V. (2002). The use of fetal bovine serum: ethical or scientific problem? *Alternative Laboratory Animals*, 30(2), 219-227. doi: [10.1177/026119290203000208](https://doi.org/10.1177/026119290203000208)
- Johnson, W.G. (2019). Conflict over cell-based meat: who should coordinate agencies in U.S. biotechnology regulation. *Food & Drug Law Journal*, 74, 478–500. Retrieved from: <https://ssrn.com/abstract=3506296>
- 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. doi: [10.1016/S2095-3119\(14\)60881-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60881-9)
- Khodabukus, A. & Baar, K. (2014). The effect of serum origin on tissue engineered skeletal muscle function. *Journal of Cell Biochemistry*, 115(12):2198-2207. DOI: [10.1002/jcb.24938](https://doi.org/10.1002/jcb.24938)
- Kosnik, P.E., Dennis, R.G., & Vandeburgh, H.H. (2003). Tissue Engineering Skeletal Muscle. In Guilak, F. (ed.). *Functional Tissue Engineering*. New York: Springer. pp. 377-392.
- Kovács, A., Tóth, A., Dunay, A., Illés, C.B. & Bitsánszky, A. (2019). *Meat analogues as protein sources*. Proceedings of the 9th International Conference on Management “People, Planet and Profit: Sustainable business and society”. 13-14th June 2019. Szent István University. Gödöllő, Hungary. Pp. 370-376.
- Langelaan, M.L., Boonen, K.J., Polak, R.B., Baaijens, F.P., Post, M.J., & Van Der Schaft, D.W. (2010). Meet the new meat: tissue engineered skeletal muscle. *Trends in Food Science and Technology*, 21(7), 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.11.001>
- Larsen, I.C.S. (2020). *The likelihood for artificial meat production in Norway: A comparative case study of two actors*. Master thesis in Energy, Environment and Society. University of Stavanger. Stavanger, Norway.
- Lautenschläger, R. & Upmann, M. (2017). How meat is defined in the European Union and in Germany. *Animal Frontiers*, 7(4), 57-59. DOI: [10.2527/af.2017.0446](https://doi.org/10.2527/af.2017.0446)

- Lee, H.J., Yong, H.I., Kim, M., Choi, Y.-S., & Jo, C. (2020). Status of meat alternatives and their potential role in the future meat market — A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(10), 1533 - 1543. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0419>
- Machovina, B., Feeley, K.J., & Ripple, W.J. (2015). Biodiversity conservation: the key is reducing meat consumption. *Science of the Total Environment*, 536, 419–431. doi:[10.1016/j.scitotenv.2015.07.022](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.022)
- Macdiarmid, J.I., Douglas, F. & Campbell, J. (2016). Eating like there's no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. *Appetite*, 96(1), 487-493. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.011>
- Marcu, A., Gaspar, R., Rutsaert, P., Seibt, B., Fletcher, D., Verbeke, W., & Barnett, J. (2014). Analogies, metaphors, and wondering about the future: Lay sense-making around synthetic meat. *Public Understanding of Science*, 24(5), 1–16. <https://doi.org/10.1177/0963662514521106>
- Mattick, C.S., Landis, A.E., & Allenby, B.R. (2015). A case for systemic environmental analysis of cultured meat. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 249-254. doi: [10.1016/S2095-3119\(14\)60885-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60885-6)
- Mattick, C.S., & Allenby, B. R. (2012). *Cultured meat: The systemic implications of an emerging technology*. Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, May 16 2012 to May 18 2012. Boston, MA: IEEE Computer Society. pp. 1-6. doi: [10.1109/ISSST.2012.6228020](https://doi.org/10.1109/ISSST.2012.6228020)
- McFarland, D.C. (1999). Influence of growth factors on poultry myogenic satellite cells. *Poultry Science* 78(5), 747-758. DOI: [10.1093/ps/78.5.747](https://doi.org/10.1093/ps/78.5.747)
- McFarland, D.C., Gilkerson, K.K., Pesall, J.E., Wellenreiter, R.H., Ferrin, N.H., Ye, W.V., Yun, Y., & Vander Wal, L.S. (1997). Comparison of the growth factor receptors and metabolic characteristics of satellite cells derived from the biceps femoris and pectoralis major muscles of the turkey. *General and Comparative Endocrinology*, 105(1), 114-120. DOI: [10.1006/gcen.1996.6806](https://doi.org/10.1006/gcen.1996.6806)
- Michael, M.,& Fasano, J. (2020). Animal cell-culture food technology: a new regulatory frontier. *Food Safety Magazine*, February/March 2020, pp. 4-5. Available from: <https://www.foodsafetymagazine.com/magazine-archive1/februarymarch-2020/animal-cell-culture-food-technology-a-new-regulatory-frontier/>
- Milburn, J. (2016). Chewing over *in vitro* meat: Animal ethics, cannibalism and social progress. *Res Publica*, 22(3), 249-265. <https://doi.org/10.1007/s11158-016-9331-4>
- Miller, J. (2012). *In vitro* meat: power, authenticity and vegetarianism. *Journal for Critical Animal Studies*, 10(4), 41 – 63.
- Miño Campos, D. (2017). *La ética asociada a la producción de carne artificial* (Tesis de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

- Moritz, M.S.M., Verbruggen, S.E.L., & Post, M.J. (2015). Alternatives for large-scale production of cultured beef: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 208-216. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60889-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60889-3)
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C. & Gerber, P. (2017). Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Mozdziak, P.E., McFarland, D.C., & Schultz, E. (2000). Telomeric profiles and telomerase activity in turkey satellite cell clones with different growth rates. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1492(2-3), 362-368. DOI: [10.1016/s0167-4781\(00\)00119-6](https://doi.org/10.1016/s0167-4781(00)00119-6)
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). *Preparing for future products of biotechnology*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Agricultural Thesaurus and Glossary (n.d.). *Alimentos sintéticos*. U.S. Department of Agriculture. Retrieved from: <https://agclass.nal.usda.gov/mtwdk.exe?k=glosses&l=60&w=8262&s=5&t=2>
- North American Meat Institute (2020). *The United States Meat Industry at a Glance*. Washington, DC: North American Meat Institute. Retrieved from: <https://www.meatinstitute.org/index.php?ht=d/sp/i/47465/pid/47465>
- OECD-FAO (2020). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029*. Paris: Organisation for Economic Co-operation Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>
- Oi, M. (2 December 2020). *Singapore approves lab-grown 'chicken' meat*. BBC News Singapore. Retrieved from: <https://www.bbc.com/news/business-55155741>
- O'Neill, E.N., Cosenza, Z.A., Baar, K. & Block, D.E. (2021). Considerations for the development of cost-effective cell culture media for cultivated meat production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 686–709. DOI: [10.1111/1541-4337.12678](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12678)
- OPS (sf). *Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA)*. Washington, D.C.: Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10836:2015-enfermedades-transmitidas-por-alimentos-eta&Itemid=41432&lang=es
- Organización Mundial de la Salud (2020). *Campylobacter*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/campylobacter#:~:text=La%20campylobacteriosis%20es%20una%20zoonosis,causa%20enfermedad%20en%20los%20animales>
- Orzechowski, A. (2015). Artificial meat? Feasible approach based on the experience from cell culture studies. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 217-221. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60882-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60882-0)
- Penn, J. (2018). “Cultured meat”: lab-grown beef and regulating the future meat market. *UCLA Journal of Environmental Law and Policy*, 36(1), 104–126.

- Petetin, L. (2014). Frankenburgers, risks and approval. *European Journal of Risk Regulation*, 5, 168–86. doi: [10.1017/S1867299X00003585](https://doi.org/10.1017/S1867299X00003585)
- Pfister, S., Saner, D., & Koehler, A. (2011). The environmental relevance of freshwater consumption in global power production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(6), 580-591. DOI: [10.1007/s11367-011-0284-8](https://doi.org/10.1007/s11367-011-0284-8)
- Pfister, S. & Bayer, P. (2014). Monthly water stress: Spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production. *Journal of Cleaner Production*, 73, 52-62. doi: [10.1016/j.jclepro.2013.11.031](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.031)
- Post, M.J. (2012). Cultured meat from stem cells: challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>
- Post, M. (2014). Cultured beef: medical technology to produce food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1039–1041. DOI: [10.1002/jsfa.6474](https://doi.org/10.1002/jsfa.6474)
- Post, M.J. & Hocquette, J.F. (2017). Chapter 16 - New Sources of Animal Proteins: Cultured Meat. In: Purslow, P.P. (Editor), *New Aspects of Meat Quality. From Genes to Ethics*. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Pp. 425-441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4.00017-5>
- Richter, F. (2019). *Alternative meat market poised for growth*. Statista. Retrieved from: <https://www.statista.com/chart/18394/meat-substitute-sales-in-selected-countries/>
- Ritchie, H. & Roser, M. (2019). *Meat and Dairy Production*. Oxford, UK: Our World in Data. Available at: <https://ourworldindata.org/meat-production>
- Riya , A. (2020). Meat alternative gaining importance over traditional meat products: A review. *Food and Agriculture Spectrum Journal*, 1(2), 1-6. Retrieved from: <https://fasj.org/index.php/fasj/article/view/8/7>
- Schaefer, G.O. & Savulescu, J. (2014). The ethics of producing *in vitro* meat. *Journal of Applied Philosophy*, 31(2), 188-202. doi: [10.1111/japp.12056](https://doi.org/10.1111/japp.12056)
- Sharma, S., Thind, S. S., & Kaur, A. (2015). *In vitro* meat production system: why and how? *Journal of Food Science Technology*, 52(12), 7599–7607. doi:[10.1007/s13197-015-1972-3](https://doi.org/10.1007/s13197-015-1972-3)
- Siegrist, M. & Sütterlin, B. (2016). People's reliance on the affect heuristic may result in a biased perception of gene technology. *Food Quality and Preference*, 54, 137–140. doi: [10.1016/j.foodqual.2016.07.012](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.07.012)
- Siegrist, M., Hartmann, C. & Suetterlin, B. (2016). Biased perception about gene technology: How perceived naturalness and affect distort benefit perception. *Appetite*, 96(1), 509-516. doi: [10.1016/j.appet.2015.10.021](https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.021)
- Siegrist, M. & Sütterlin, B. (2017). Importance of perceived naturalness for acceptance of food additives and cultured meat. *Appetite*, 113, 320-326. DOI: [10.1016/j.appet.2017.03.019](https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.019)
- Siegrist, M., Sutterlin, B., & Hartmann, C. (2018). Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Science*, 139, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.02.007>

- Siegrist, M., & Hartmann, C. (2020). Perceived naturalness, disgust, trust and food neophobia as predictors of cultured meat acceptance in ten countries. *Appetite*, 155(1), 104814. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104814>
- Simonsen, RR. (2015). Eating for the future: veganism and the challenge of in vitro meat. In: Stapleton, P. & Byers, A. (eds.). *Biopolitics and Utopia*. Palgrave Series in Bioethics and Public Policy. Berlin: Springer. Pp. 167-190.
- Slade, P. (2018). If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based and cultured meat burgers. *Appetite*, 125, 428-437. DOI: [10.1016/j.appet.2018.02.030](https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.02.030)
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., & Heinz, V. (2015). Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1254–1267. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
- Smith, L.G., Williams, A.G. & Pearce, B.D. (2014). The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(3), 280 – 301. <https://doi.org/10.1017/S1742170513000471>
- Specht, E. (2020). *An analysis of culture medium costs and production volumes for cultivated meat*. The Good Food Institute. Retrieved from: <https://www.gfi.org/files/sci-tech/clean-meat-production-volume-and-medium-cost.pdf>
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.L., Lassaletta, L., et al. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562, 519-525.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. (2006) *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Stephens, N. (2010). *In vitro* meat: zombies on the menu? *SCRIPTed*, 7(2), 394- 401. DOI: [10.2966/scr.070210.394](https://doi.org/10.2966/scr.070210.394)
- Stephens, N., Silvio, L.D., Dunsford, I., Ellis, M., & Glencross, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 155 - 166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- Sun, Z.C, Yu. Q.L. & Han, L. (2015). The environmental prospects of cultured meat in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2): 234–240. doi: [10.1016/S2095-3119\(14\)60891-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60891-1)
- Sun, C., Gea, J., He, J., Gan, R., & Fang, Y. (2020). Processing, quality, safety, and acceptance of meat analogue products. *Engineering (In Press)*. DOI: [10.1016/j.eng.2020.10.011](https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.10.011)
- Suthar, T.R. & Devkatte, A.N. (2020). Glimpses on lab-grown meat. *Food and Agriculture Spectrum Journal*, 1(1), 1-3. Retrieved from: <https://foodagrispectrum.org/index.php/fasi/article/view/12/5>
- Tritscher, A., Miyagishima, K., Nishida, C. & Branca, F. (2013). Ensuring food safety and nutrition security to protect consumer health: 50 years of the Codex Alimentarius Commission. *Bulletin of the World Health Organization*, 91(7),13. <http://www.who.int/bulletin/volumes/91/7/13-125518>

- Tucker, C.B., Coetzee, J.F., Stookey, J.M., Thomson, D.U., Grandin, T. & Schwartzkopf-Genswein, K.S. (2015). Beef cattle welfare in the USA: identification of priorities for future research. *Animal Health Research Reviews*, 16(2), 107–124. doi: [10.1017/S1466252315000171](https://doi.org/10.1017/S1466252315000171)
- Tuomisto, H.L., & Teixeira de Mattos, M.J. (2011). Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental Science and Technology*, 45, 6117–6123.
- UNEP (2013). *Creating a Sustainable Food Future. A menu of solutions to sustainably feed more than 9 billion people by 2050. World Resources Report 2013–14: Interim Findings*. Nairobi: United Nations Environment Program. Retrieved from: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10731/CreatingSustainableFoodFuture.pdf?amp%3BisAllowed=&sequence=1>
- USDA (March 7, 2019). *USDA and FDA announce a formal agreement to regulate cell-cultured food products from cell lines of livestock and poultry*. United States Department of Agriculture. Retrieved from: <https://www.usda.gov/media/press-releases/2019/03/07/usda-and-fda-announce-formal-agreement-regulate-cellcultured-food>
- Valsta, L., Tapanainen, H., & Männistö, S. (2005). Meat fats in nutrition. *Meat Science*, 70(3), 525-530. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.12.016>
- van der Weele, C. & Tramper, J. (2014). Cultured meat: Every village its own factory? *Trends in Biotechnology*, 32(6), 294–296. DOI: [10.1016/j.tibtech.2014.04.009](https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.04.009)
- Vázquez-Selem, E., Barradas-Troncoso, D.S., Villagómez-Cortés, J.A. & Mora Brito, Á.H. (2013). El programa de licenciatura en agronegocios internacionales en la Universidad Veracruzana, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 32, 320-333.
- Verbeke, W., Sans, P., & Loo, E. J. (2015a). Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 285 – 294. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60884-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60884-4)
- Verbeke, W., Marcu, A., Rutsaert, P., Gaspar, R., Seibt, B., Fletcher, D., & Barnett, J. (2015b). Would you eat cultured meat? Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Science*, 102, 49–58. DOI: [10.1016/j.meatsci.2014.11.013](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.013)
- Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. & Ingram, J.S.I. (2012). Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Wangs, A., Hery, H. & Purba, J.T. (2019). *Natural Vs. Synthetic Food: Which Is Better?* Proceedings of the 1st Asian Conference on Humanities, Industry, and Technology for Society, ACHITS 2019, July 30-31, Surabaya, Indonesia. DOI [10.4108/eai.30-7-2019.2287745](https://doi.org/10.4108/eai.30-7-2019.2287745)
- Wild, F., Czerny, M., Janssen, A.M., Kole, A.P.W., Zunabovic, M., & Domig, K.J. (2014). The evolution of a plant-based alternative to meat. From niche markets to widely accepted meat alternatives. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 25(1), 45-49. <https://edepot.wur.nl/372217>

- Winickoff D.E. & Bushey, D.M. (2010). Science and Power in Global Food Regulation: The Rise of the Codex Alimentarius. *Science Technology Human Values*, 35(3) 356-381. doi: [10.1177/0162243909334242](https://doi.org/10.1177/0162243909334242)
- Woll, S., & Böhm, I. (2018). *In-vitro* meat: A solution for problems of meat production and meat consumption? *Ernaehrungs Umschau International*, 1, 12 - 21. doi: [10.4455/eu.2018.003](https://doi.org/10.4455/eu.2018.003)
- Yahya, S.B.& Ariffin, S.K. (2020). Determinants of consumer purchase intention of halal meat in Kano-Nigeria: a conceptual paper. *International Journal of Industrial Management*, 6(1), 40-48 DOI: <https://doi.org/10.15282/ijim.6.0.2020.5628>
- Yang, S., Pen, X., Wang, G., Yan, L., Hu, J., Li, Y., Lee, N., & Yang, D. (2016). Prevalence of food-borne pathogens in ready-to-eat meat products in seven different Chinese regions. *Food Control*, 65, 92-98, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.009>
- Zandonella, C. (2003). Tissue engineering: The beat goes on. *Nature*, 421, 884–886. DOI: [10.1038/421884a](https://doi.org/10.1038/421884a)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.026>