

# Proteïnes alternatives per al desenvolupament d'anàlegs carnis

## *Alternative proteins for the development of meat analogues*



### MARC RUBIO CELORIO

Doctor en tecnologia alimentària per la Universitat de Girona (UdG). Responsable de Recerca i Desenvolupament (R+D) dels productes vegetals de La Selva, professor associat a la UdG i professor col·laborador a la Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

**RESUM:** Tot i que la carn és un aliment molt nutritiu que sempre ha estat lligat a la humanitat, en els últims anys hi ha hagut un seguit de factors demogràfics, ètics, mediambientals i de salut que han fet plantejar-se la reducció del consum de carn i la cerca d'alternatives. Els anàlegs carnis són productes que mimetitzen les propietats nutricionals, funcionals i organolèptiques de la carn, utilitzant proteïnes obtingudes a través de fonts no convencionals. Les cinc fonts de proteïnes alternatives que actualment presenten més potencial són les proteïnes vegetals, la carn cultivada, la fermentació, els insectes i les microalgues. En aquest article s'analitzen i comparen les característiques, avantatges i inconvenients de cadascuna d'aquestes fonts. En el moment d'enviar l'original d'aquest article (octubre 2023), les previsions són que aquestes alternatives guanyin molta quota de mercat en els propers anys, però caldrà veure si podran superar els reptes tecnològics i econòmics als quals s'enfronten i, sobretot, si aconseguen l'acceptació dels consumidors.

**PARAULES CLAU:** proteïnes vegetals, carn cultivada, micoproteïna, insectes, microalgues, transició proteica.

**ABSTRACT:** *Although meat is a very nutritious food that has always been linked to humanity, in recent years a series of demographic, ethical, environmental and health factors have led us to consider a reduction in meat consumption and to search for alternatives. Meat analogues are products that mimic the nutritional, functional and organoleptic properties of meat, using proteins obtained from non-conventional sources. The five alternative protein sources that currently show the most potential are plant proteins, cultured meat, fermentation, insects and microalgae. This article analyzes and compares the characteristics, advantages and disadvantages of each of these sources. At the time of sending the original of this article (October 2023), forecasts suggest that these alternatives will achieve a large increase of market share in the coming years, but it remains to be seen if they will be able to overcome the technological and economic challenges which they face and, in particular, whether they will achieve consumer acceptance.*

**KEYWORDS:** *plant-based proteins, cultured meat, mycoprotein, insects, microalgae, protein transition.*

## INTRODUCCIÓ

La carn és un aliment important en la nostra dieta, ja que és altament nutritiva: aporta un alt contingut de proteïnes d'alt valor biològic, així com vitamines del grup B, ferro, zinc i seleni, que són essencials per al correcte fun-

cionament fisiològic del nostre cos (Pereira i Vicente, 2013). Es tracta d'un aliment que ha contribuït a l'evolució i desenvolupament dels humans, que forma part de la cuina de moltes cultures des de fa segles i que té un important significat social degut a les seves favorables propietats sensorials (Font-i-Furnols i Guerrero, 2014).

Segons l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO), la producció mundial de carn s'ha quintuplicat des del 1960 i es preveu que el 2023 la carn produïda arribi als 364 milions de tones. El consum mitjà de carn al món és de 46 kg per persona i any. Òbviament, aquestes xifres encara són més elevades als països occidentals, on es pot arribar a consumir entre 80 i 100 kg de carn anualment. Davant aquestes xifres, en els darrers anys hi ha hagut un augment en la consciència de la població que ha portat a qüestionar si el model actual de consum de carn és sostenible. Els quatre factors que resumeixen aquest canvi de paradigma es resumeixen en:

1. **Factors demogràfics:** segons les Nacions Unides, el 15 de setembre del 2022 la població mundial va arribar als 8.000 milions d'habitants, i les previsions són que el 2050 arribem als 9.700 milions, i el 2100 als 10.400 milions. Aquest increment poblacional, sumat a un augment del poder adquisitiu, portaran a augmentar entre un 76 i un 133 % la demanda de carn en el propers anys (Alexander *et al.*, 2017).
2. **Factors mediambientals:** la ramaderia és responsable del 14,5 % de les emissions globals de gasos d'efecte hivernacle (GEH), ocupa el 40 % de les terres cultivables del món i utilitza el 30 % de l'aigua d'ús agrícola (Ismail *et al.*, 2020). A més, contràriament al que es pugui pensar, la producció animal és altament ineficient: es necessiten 6 kg de proteïna vegetal per a generar 1 kg de carn (Kołodziejczak *et al.*, 2022). Establir noves granges intensives pot portar a la desforestació, danyar reserves hídriques i amenaçar la biodiversitat. Alguns estudis apunten que si volem complir els objectius per fer front al canvi climàtic que marquen les organitzacions mundials, caldrà que el consum *per capita* de carn es redueixi dràsticament: cada habitant hauria de reduir el 75 % del seu consum de carn vermella, mentre que la població dels països occidentals l'hauria de reduir fins al 90 %.
3. **Factors de salut:** tot i que la carn és un aliment molt nutritiu, l'Agència Espanyola de Seguretat Alimentària i Nutrició (AESAN) i l'Agència de Salut Pública de Catalunya (ASPCAT) recomanen una dieta amb predomini d'aliments d'origen vegetal i una reducció dels d'origen animal: consum d'entre dues i quatre racions de carn a la setmana, amb un màxim de dues racions de carn vermella. Això és degut al fet que la carn conté alts continguts en greix saturat i colesterol, i que un consum excessiu de carn està associat a sobrepès, obesitat, malalties cardiovasculars i diabetis tipus 2 (McAfee *et al.*, 2010). També cal

dir que el 2015 l'Agència Internacional de Recerca sobre el Càncer (IARC, del seu nom en anglès) va classificar el consum de carn vermella com a grup 2A (probablement causant de càncer) i la carn processada com a grup 1 (causant de càncer). S'apunta que més de dos milions de morts a l'any podrien ser explicades per un alt consum de carn vermella i carn processada.

4. **Factors ètics:** la FAO apunta que sacrificuem 80.000 milions d'animals l'any pel consum alimentari, el que tocaria a 10 animals per cada persona del planeta. La producció intensiva de bestiar suscita una seriosa preocupació sobre el benestar animal. Així ho demostra l'augment exponencial en la darrera dècada de persones que segueixen dietes flexitarianes, vegetarianes o veganes (Ismail *et al.* 2020).

En aquest context, una reducció en el consum de carn sembla imperativa per a complir els objectius de desenvolupament sostenible marcats per les Nacions Unides (el 3, salut i benestar; el 12, consum i producció responsables; el 13, acció climàtica, i el 15, vida terrestre). Els aliments proteics sense proteïna animal no són res nou. Els països asiàtics fa molts anys que s'alimenten amb tofu i tempeh (a partir de la proteïna de la soja) o amb seitan (a partir del gluten del blat) com a alternativa a la carn. També podem trobar al mercat hamburgueses, croquetes o canelons elaborats a partir de barreges de verdures, llegums i cereals. Totes aquestes opcions han atret durant anys les persones vegetarianes i veganes que volien evitar el consum de carn per motius ètics, però també cada cop més persones que porten dietes omnívores però que veuen necessari un descens en el consum de carn per motius mediambientals o de salut. No obstant això, molts d'aquests consumidors troben que aquesta tipologia de productes té una gran falta de propietats organolèptiques desitjades, sobretot quan es comparen amb la carn que té una textura fibrosa i una aroma característica.

Per a suplir aquestes mancances, recentment han aparegut els anàlegs carnis: productes que mimetitzen les propietats nutricionals, funcionals i organolèptiques (aparença, textura i aroma) dels productes carnis. Comercialment, els més habituals al mercat han estat anàlegs d'hamburguesa, de *nuggets* i d'embotits. El nutrient més important de la carn és la seva proteïna d'alta digestibilitat i valor biològic (conté tots els aminoàcids essencials), que la fa molt preuada nutricionalment, però també funcionalment per a l'elaboració de derivats carnis (Kołodziejczak *et al.*, 2022). Per tant, en els anàlegs carnis serà de vital importància triar bones fonts proteiques. En aquest sentit, els anàlegs carnis, en comptes de fer ser-

vir proteïnes animals, estan elaborats amb el que s'han anomenat *proteïnes alternatives*: proteïnes obtingudes a través de fonts no convencionals i/o amb processos diferents dels tradicionals. Actualment les cinc fonts de proteïna alternativa amb més potencial per a l'elaboració d'anàlegs carnis i per a reduir el consum de carn en el futur són: proteïnes vegetals (més conegudes pel seu anglicisme: *plant-based*), carn cultivada (mal coneguda com a carn de laboratori), fermentació (per a l'obtenció de micoproteïnes), insectes i microalgues.

El desenvolupament d'anàlegs carnis està considerat una alternativa prometedora per a disminuir el nombre de persones que consumeixen carn animal (Elzerman *et al.*, 2011). S'espera que la utilització de proteïnes alternatives pugui reduir l'impacte mediambiental negatiu fins al 50%, degut al seu potencial per reduir les emissions de GEH (fins a 583 milions de tones de CO<sub>2</sub> per any). També ha estat afirmat que els anàlegs carnis tenen un risc reduït davant les malalties cardiovasculars, pressió arterial i diabetis, i podrien evitar fins a 52.700 morts prematures per any (Boukid, 2021). No obstant això, el potencial dels anàlegs carnis sobre la sostenibilitat i la salut dependrà en gran mesura de la disponibilitat, cost i acceptabilitat per part dels consumidors de les diferents fonts de proteïnes alternatives.

## PROTEÏNES VEGETALS (PLANT-BASED)

Els anàlegs carnis que s'elaboren a partir de proteïnes vegetals es coneixen popularment amb l'anglicisme *plant-based*. Realment, el consum de proteïnes vegetals és una de les fonts nutritives més antigues de la humanitat i no es podria considerar una nova categoria. No obstant això, no ha sigut fins fa pocs anys que s'han desenvolupat noves tecnologies i ingredients per a la texturització d'aquestes proteïnes, i que s'ha vist la possibilitat d'imitar amb més èxit la textura de la carn.

La font proteica utilitzada pels fabricants de productes *plant-based* és un dels components més importants per a la identitat i diferenciació dels productes (Bohrer, 2019):

- La soja ha sigut històricament la proteïna més comunament utilitzada en productes *plant-based* degut al seu potencial nutritiu i funcional, i al seu econòmic preu. La soja pot contenir fins al 35-40% de proteïnes d'un valor biològic igual al de la carn, els ous o

la llet (Bohrer, 2019). A més, posseeix unes interessants propietats funcionals que la fan molt adient per a l'elaboració d'anàlegs carnis: capacitat d'absorbir aigua i oli, i emulsionant (Lee *et al.*, 2020). No obstant això, és important fer notar que actualment els consumidors comencen a tenir percepcions negatives sobre la soja a causa de la seva al·lergicitat i la seva relació amb la desforestació i els organismes modificats genèticament.

- El gluten també s'ha utilitzat extensament en la indústria dels *plant-based*, a causa de les seves propietats reològiques i viscoelàstiques, i al seu baix preu (Ishaq *et al.*, 2022). Quan arriba a 85 °C, el gluten coagula i forma un gel però sense perdre la seva estructura. A més, és un bon lligant entre les proteïnes i els altres ingredients (Lee *et al.*, 2020). Aquestes propietats fan que pugui mantenir les fibres del producte unides i es pugui arribar a obtenir una interessant textura fibrosa que recorda la carn (Boukid, 2021). Al mateix temps, cal remarcar que el gluten és altament al·lergogen i que no és tolerat per persones celiaques.
- El pèsol està guanyant popularitat els últims anys i es presenta com una interessant alternativa a la soja i al gluten, gràcies a la seva hipoal·lergicitat i a les seves interessants propietats funcionals que ajuden a millorar els atributs de textura dels anàlegs carnis: capacitat de formar gels, immobilitzar greix i atrapar aigua dintre de la matriu de les emulsions (Kurek *et al.*, 2022).
- Altres fonts de proteïna vegetal emergents s'estan estudiant i desenvolupant actualment per al seu ús als anàlegs carnis: llegums (fava, cigró), cereals (arròs), llavors oleaginoses (gira-sol) o tubercles (patata). En general, aquestes fonts presenten algunes limitacions funcionals i nutricionals (tenen un valor biològic una mica inferior degut a l'absència d'alguns aminoàcids). No obstant això, són fonts lliures d'al·lèrgens i es poden combinar amb les altres fonts proteiques per maximitzar els efectes.

A trets generals, la composició i els ingredients de la majoria de productes *plant-based* acostumen a ser:

- **Aigua:** és el component majoritari, ja que serveix com a element per a la distribució de la resta d'ingredients. Necessària per a crear emulsions i per a donar sucositat al producte final. També proporciona un estalvi econòmic (Lee *et al.*, 2020).

- **Proteïna texturitzada:** un dels punts més complexos a l'hora de desenvolupar anàlegs carnis és dotar-los d'una textura semblant a aquella de la carn. El desenvolupament de la fibrositat de l'anàleg carni dependrà dels ingredients i el processament de les seves proteïnes. L'extrusió és el mètode de texturització de proteïnes vegetals més utilitzat degut a la seva alta productivitat, baix cost, versatilitat i eficiència energètica (Boukid, 2021). El procés consisteix en un bisensfí que cisalla, escalfa, comprimeix i refreda les proteïnes per tal de reestructurar-ne la forma nativa (globular) i obtenir-ne la forma texturitzada (lineal). Existeixen dos tipus d'extrusió: de baixa humitat i d'alta humitat (Matas i Gou, 2022), les característiques principals de les quals queden recollides en la taula 1. La proteïna més comunament texturitzada és la soja, tot i que també es pot emprar el gluten i el pèsol. L'ús de proteïna texturitzada ha estat molt usada en el desenvolupament d'anàlegs carnis, ja que aporta una aparença, textura i valor nutricional similars als de la carn (Lee *et al.*, 2020).
- **Hidrocol·loides:** són macromolècules que tenen molta afinitat per l'aigua. Molt utilitzats en la indústria per a modificar la textura dels aliments: des de l'augment de viscositat fins a la creació de gels. Podríem classificar els hidrocol·loides en dos grups: *a*) ingredients, com midó (de blat, de blat de moro), fècula (de patata, de tapioca), fibres (cítrica, *psyllium*) o proteïna (concentrat o aïllat de soja), i *b*) additius, que provenen de vegetals o microorganismes i es consideren fibra soluble. Alguns d'ells es modifiquen químicament per a potenciar-ne l'efecte. Són classificats com a E-4xx i popularment es coneixen com a gomes (Cortés *et al.*, 2023). Els més comuns en el món *plant-based* han estat: metilcel·lulosa, car-

ragenat i alginat. Els additius tenen mala premsa entre els consumidors i actualment es comença a debatre la substitució d'aquests additius per aconseguir reduir la llista d'ingredients i els números E.

- **Oli/greix:** per tal d'imitar l'experiència sensorial de la carn, és essencial afegir greixos que promoguin la melositat i untuositat en boca, incrementin l'aroma i aportin sucositat i tendresa a la textura. Els més emprats han estat olis de gira-sol, oliva, palma, colza i coco (Zahari *et al.*, 2020). Contràriament al que es pugui pensar, els anàlegs carnis *plant-based* acostumen a tenir el mateix contingut total de greixos que la carn. No obstant això, els greixos vegetals no aporten colesterol ni àcids grassos *trans* i, en general, tenen un contingut molt reduït d'àcids grassos saturats (excepte en el cas de la palma i el coco).
- **Aromes:** l'acceptació per part del consumidor dependrà fortament del gust i l'olor del producte. Per tal de replicar les aromes dels productes carnis s'utilitzen espècies, herbes, extracte de llevat, sucres i tot un seguit d'aromes artificials (Boukid, 2021). Una quantitat molt més elevada d'aromes és utilitzada en els anàlegs carnis en comparació amb els productes carnis tradicionals, ja que intenten replicar aromes complexes típiques de la carn i, a la vegada, emmascarar aromes indesitjables que poden deixar les proteïnes vegetals com la soja (Kołodziejczak *et al.*, 2022).
- **Colorant:** l'aparença i el color d'un producte són crucials per a la intenció de compra del consumidor. La soja, el gluten i el pèsol acostumen a donar tonalitats beix o groguenques no atractives (Kołodziejczak *et al.*, 2022). Per aquest motiu els productes *plant-based* contenen colorants vermells, roses i porpres que

Taula 1. Característiques principals dels dos sistemes d'extrusió

	EXTRUSIÓ BAIXA HUMITAT	EXTRUSIÓ ALTA HUMITAT
Contingut aigua mescla inicial	< 30 %	40-80 %
Processament	El broquet de sortida de l'extrusor és curt i produeix una expansió del producte	El broquet de sortida de l'extrusor és llarg i amb refrigeració i produeix una estructuració del producte
Contingut aigua producte final	20-40 %	50-70 %
Aparença	Esponjosa, seca i porosa	Fibrosa, estriada i no expandida
Textura	Càrnia poc autèntica	Càrnia molt autèntica
Rehidratació	Necessària	No necessària
Refrigeració	No necessària	Necessària
Denominació	TPV (de l'anglès <i>textured vegetable protein</i> )	HMMA (de l'anglès <i>high moisture meat analogues</i> )

Font: Elaboració pròpia.

puguin recordar les tonalitats típiques de la carn. Per tal d'evitar l'ús de colorants artificials i la seva declaració com a «E» en l'etiquetatge, cada cop més els elaboradors opten per extractes o concentrats de vegetals (remolatxa, pebre vermell, moniato, pastanaga, etc.). Una problemàtica derivada d'aquests ingredients és la seva poca estabilitat davant de la temperatura de cocció, que pot fer disminuir dràsticament la intensitat de color. Per assegurar l'estabilitat dels colorants i els pigments, s'acostumen a afegir altres ingredients com àcid cítric o ascòrbic, extractes de fruites o polifenols (Boukid, 2021).

- **Enriquidors:** molts productes *plant-based* estan enriquits amb minerals i vitamines amb l'objectiu de millorar-ne el perfil nutricional. Els dos elements més típicament afegits a aquesta categoria de productes són la vitamina B<sub>12</sub> i el ferro, ja que aquests micronutrients no es troben en els aliments vegetals (o es troben en una forma poc absorbible), cosa que pot arribar a causar deficiències en les persones veganes (Kołodziejczak *et al.*, 2022).

Els productes *plant-based* estant guanyant popularitat com a alternativa al consum excessiu de carn. S'han implementat al mercat gràcies a la concepció «bo per a mi i bo per al planeta» (Ishaq *et al.*, 2022). Des del punt de vista mediambiental, es considera que els vegetals tenen un impacte positiu en la conservació de la biodiversitat, en l'agricultura i en la preservació de la fertilitat del sòl (Boukid, 2021). I des del punt de vista nutricional, aquesta tipologia de productes presenta un alt contingut de proteïnes d'alt valor biològic (comparables a la carn), absència de colesterol i àcids grassos *trans*, baix contingut en àcids grassos saturats i continguts significatius de fibra. Contràriament, són productes que acostumen a tenir major contingut en sal (per tal de potenciar el sabor), manquen d'algunes vitamines i minerals (per aquest motiu a vegades s'enriqueixen) i utilitzen quantiosos ingredients i additius (que els allunya de la preferència del consumidor per les «etiquetes netes»).

Cal també remarcar que els productes *plant-based* presenten un seguit de limitacions: *a*) econòmiques, ja que acostumen a ser més cars que els productes carnis, cosa que frena la intenció de compra del consumidor; *b*) organolèptiques, malgrat s'ha avançat molt en el desenvolupament d'aquests productes, en alguns casos encara estan lluny d'imitar completament la carn, i *c*) tecnològiques, donada la dificultat de crear una xarxa complexa de fibres, s'està optant per productes tipus picats o emulsionats (hamburguesa, fränkfurt, embotits, etc.) i encara no s'han presentat peces senceres (pernil, bistec, costelles, etc.).

## CARN CULTIVADA

La carn cultivada es produeix a través del cultiu *in vitro* de cèl·lules extretes d'animals sense causar-los dany. Se la coneix amb diversitat de nomenclatures: carn *in vitro*, carn artificial, carn de laboratori, carn sintètica, carn neta, *cell-based*, *lab-based*. La carn és produïda a partir de cèl·lules animals, les quals es col·loquen en un medi ric en nutrients i factors de creixement per accelerar-ne la divisió i diferenciació fins a obtenir teixits. Tot el procés es pot dur a terme en qüestió de dies, en contraposició a la necessitat de mesos o anys en el cas de la carn tradicional.

El procés simplificat d'elaboració de carn cultivada consta dels passos següents:

1. **Extracció:** a través d'una biòpsia a un animal viu (en principi, de qualsevol espècie) s'obtenen cèl·lules. Les cèl·lules més àmpliament emprades són satèl·lits: cèl·lules mares musculars que encara no s'han diferenciat (Zhou *et al.*, 2020). Es considera que amb una sola biòpsia es podria obtenir la carn equivalent a cinquanta porcs, tot i que, a la llarga, la intenció dels productors és obtenir línies cel·lulars immortalitzades per tal de no dependre en absolut dels animals (Lee *et al.*, 2020).
2. **Proliferació:** les cèl·lules seleccionades es traspassen a bioreactors en condicions controlades de temperatura, pH i oxigen, i que contenen un medi de cultiu ideal perquè les cèl·lules es multipliquin exponencialment. La composició del medi de cultiu serà bàsica i haurà de contenir nutrients, hormones, vitamines, aminoàcids, factors de creixement, etc. Un dels medis de cultiu més emprats ha sigut el sèrum boví, però això desvirtua substancialment els avantatges ètics propiciats per aquesta tecnologia i per això es busquen alternatives lliures d'animals (Lee *et al.*, 2020).
3. **Diferenciació:** canviant les condicions del medi de cultiu es pot fer madurar i diferenciar les cèl·lules. Quan es volen cèl·lules musculars, simplement es deixen d'alimentar amb factors de creixement i es diferencien per elles soles. Les cèl·lules musculars es fusionen de forma natural per formar primer miofibrils, després miofibrilles i finalment fibres musculars. Val a dir que la producció de cèl·lules *in vitro* no genera una matriu en tres dimensions. Per aquest motiu hi ha un ús ampli del que s'anomena «bastida» (de l'anglès *scaffolding*). Generalment, són hidrogels comestibles de naturalesa porosa (poden ser de col·lagen o cel·lulosa) que fan de base i permeten organitzar els teixits i aconseguir una xarxa tridimensional més semblant a la de la carn. Tot i que en una

primera fase només es cultivaven cèl·lules musculars, les tècniques s'han anat refinant i actualment també es pot cultivar greix, diferenciant les cèl·lules mares en adipòcits o teixit connectiu (Lee *et al.*, 2020). Aquest procés no implica cap modificació genètica de les cèl·lules, ja que es comporten de manera natural, com ho farien dintre del teixit de l'animal.

4. **Elaboració:** amb les fibres aconseguides, es pot elaborar el producte carni desitjat. Opcionalment, es poden afegir colorants, saboritzants o vitamines/minerals. Val a dir que actualment es poden aconseguir entrellaçar poques fibres musculars i que els sistemes de bastida no permeten obtenir textures altament estructurades. Conseqüentment, el més habitual és treballar amb productes picats o emulsionats (Lee *et al.*, 2020). S'està treballant amb tecnologies d'impressió 3D per intentar obtenir peces senceres.

Tot i que aquesta tecnologia és absolutament innovadora, el seu concepte ja va ser descrit fa gairebé un segle. Winston Churchill ja va postular el 1932: «D'aquí cinquanta anys, escaparem de l'absurditat de criar pollastres sencers per només menjar-nos-en les ales o les cuixes, i cultivarem aquestes parts per separat en un medi adequat». El 2013 aquest pronòstic es va fer cert quant l'holandès Mark Post va presentar la primera hamburguesa de vedella cultivada. Tot i que la biotecnologia de teixits s'ha desenvolupat amb propòsits de medicina regenerativa, els últims anys s'han aprofitat els progressos per aplicar-los també al camp de la tecnologia alimentària (Lee *et al.*, 2020).

Tot i que és una tecnologia emergent, s'espera que requereixi una quantitat de terra i aigua quasi negligible, i generi menys efecte hivernacle que la carn tradicional (Zhou *et al.*, 2020). A més, reduiria la necessitat de criar i sacrificar bestiar per al consum humà, ja que una única cèl·lula pot proliferar diverses vegades. A banda, tot el procés es duu a terme en condicions d'esterilitat, cosa que podria pal·liar les zoonosis derivades del consum tradicional de productes carnis (Lee *et al.*, 2020). Aquests avantatges mediambientals, ètics i de la salut estaran condicionats a la disponibilitat, sostenibilitat i viabilitat d'aquesta tecnologia, així com a l'acceptació del consumidor. Altres estudis, no obstant això, defensen que els requeriments energètics per al cultiu de carn seran molt més grans que els de la carn tradicional o les altres fonts de proteïna alternativa (Fidder i Graça, 2023).

L'acceptació dels consumidors dependrà de les propietats organolèptiques, els valors nutricionals i el preu del producte. No obstant això, s'espera trobar molta neofòbia: rebuig a tot allò que és nou. Així, aquells factors que evo-

quin naturalitat i familiaritat ajudaran a augmentar l'acceptació de carn cultivada, mentre que factors que facin referència a l'artificialitat, la tecnologia o el laboratori disminuiran l'acceptació del consumidor. Sembla que la clau per augmentar l'acceptació de la carn cultivada és assimilar-la al màxim a la carn tradicional (Fidder i Graça, 2023). D'aquesta manera, la nomenclatura emprada també tindrà un paper crucial. Així, totes les nomenclatures que accentuïn termes tecnològics o de laboratori xocaran amb una baixa acceptació. Les empreses involucrades estan fent un esforç per intentar estandarditzar el nom de «carn cultivada», per guanyar la confiança pública i unificar vocabulari per temes reguladors (Fidder i Graça, 2023).

El que segur que serà un topall per al consum de carn cultivada serà el seu preu desproporcionat. La primera hamburguesa del 2013 va costar la desorbitada xifra de 300.000 dòlars. Des de llavors, la investigació i els nous desenvolupaments han fet caure en picat aquesta xifra, però segueix estant molt per sobre del preu de la carn tradicional. Les millors previsions són que abans del 2030 estigui disponible per menys de 8 €/kg. L'alt cost d'aquesta tecnologia s'explica per: a) les cèl·lules animals són cares de fer créixer i requereixen nutrients molt específics; b) els bioreactors emprats són encara petits; c) tot el procés s'ha de dur en condicions d'esterilitat, i d) consumeix molta energia. La industrialització i escalabilitat de la carn cultivada serà clau per a la reducció de costos (Zhou *et al.*, 2020). Entretant, una de les solucions transitòries que s'està utilitzant per a la reducció de costos és l'elaboració d'híbrids: carn cultivada + *plant based*.

Un altre obstacle que haurà de superar la carn cultivada són tots els afers reguladors amb l'Administració. Singapur va ser el primer país que va aprovar el consum de carn de pollastre cultivada el 2020. Seguidament, el 2023, Estats Units també ha aprovat la carn de pollastre cultivada i ha obert la porta perquè la Unió Europea (UE) comenci a tractar el tema. Recentment, la FAO ha començat a discutir la temàtica amb els països membres (Lee *et al.*, 2023).

Any rere any, augmenten les empreses amb intenció de subministrar carn cultivada sense necessitat de matar animals, cosa que reflecteix l'increment d'inversió i finançament d'aquest sector. Tot i que encara no hi ha línies productives a escala comercial, un estudi conduït per la consultoria Kearney va suggerir que el 2040 el 35% de tot el consum carni seria derivat de la carn cultivada. Semblaria que aquesta font de proteïna alternativa tindria més potencial que les altres fonts tractades en

aquest article, ja que superaria les seves qualitats sensorials i nutricionals i, a més, atrauria el consumidor que no vol reduir el seu consum de carn.

## FERMENTACIÓ (MICOPROTEÏNES)

La indústria de la proteïna alternativa utilitza la fermentació en tres vies:

1. **Fermentació tradicional:** ha sigut utilitzada per la humanitat des de fa milers de segles per elaborar pa, cervesa, vi, iogurt, formatge o tempeh. Es tracta d'un procés que duen a terme alguns microorganismes unicel·lulars (bacteris o llevats) com a part del seu metabolisme i que, a trets generals, degrada molècules grosses (midó) en d'altres de més petites (sucres) i altres subproductes (CO<sub>2</sub> o alcohol). La fermentació tradicional pot millorar les propietats sensorials, funcionals i nutritives d'alguns anàlegs carnis (Carter *et al.*, 2023).
2. **Fermentació de precisió:** s'utilitzen microorganismes per a l'obtenció d'ingredients funcionals específics com proteïnes, enzims, vitamines, greix o pigments. Tots ells són compostos d'un alt valor, que poden utilitzar-se als anàlegs carnis per a millorar-los i fer que s'assemblin més als productes originals (Carter *et al.*, 2023).
3. **Fermentació de biomassa:** aprofita l'alt contingut en proteïnes i l'alta velocitat de creixement dels microorganismes (poden duplicar el seu pes en hores) per a generar grans quantitats de proteïna de manera eficient. La biomassa microbiana pot ser utilitzada com a ingredient de manera directa o amb un mínim processament (Carter *et al.*, 2023). Aquest tipus de fermentació és la que suscita més interès per a la producció de proteïna alternativa i anàlegs carnis.

La micoproteïna, obtinguda a partir de la fermentació de biomassa de fongs filamentosos, s'ha descrit com una potencial font de proteïna pels anàlegs carnis degut al seu gust agradable, contingut alt en proteïnes i avantatges mediambientals (Wikandari *et al.*, 2023). El anàlegs carnis desenvolupats a partir de fongs han creat una nova categoria: els *fungi-based* (per tal d'equiparar-los als ja vistos *plant-based* i *cell-based*).

La producció de micoproteïna està basada en una fermentació submergida de fongs en un medi de cultiu líquid. Un dels gèneres més emprats és el *Fusarium vene-*

*natum*, el qual està considerat GRAS (de l'anglès *generally recognized as safe*, 'generalment reconegut com a segur'). Usualment la fermentació es produeix a bioreactors, on s'aporten sucres (glucosa principalment) i altres nutrients per tal de mantenir una fermentació contínua del fong a una alta ràtio metabòlica (Kurek *et al.*, 2022). Els fongs filamentosos, a diferència dels llevats, creixen formant una xarxa de filaments anomenats micelis. Aquests micelis són generalment tractats amb calor, centrifugats i recuperats en una pasta que anomenem micoproteïna. Posteriorment, aquesta micoproteïna pot passar per etapes de texturització, es pot utilitzar conjuntament amb hidrocol·loides per a obtenir la forma i textura desitjada o es pot tractar per a obtenir concentrats o aïllats de proteïna (Zeng *et al.*, 2023). Actualment, ja es poden trobar al mercat productes elaborats amb micoproteïna com hamburgueses, *nuggets*, productes picats o embotits (Ismail *et al.*, 2020).

L'ús de micoproteïna està experimentant un gran creixement en els darrers anys, a causa dels avantatges que té:

- **Nutricionals:** la micoproteïna presenta un alt contingut en proteïnes (40-60%) d'alt valor biològic i alta digestibilitat, comparables a les de la llet o els ous (Hashempour-Baltork *et al.*, 2020). A més, conté interessants micronutrients (zinc, seleni, ferro i vitamina B<sub>12</sub>) (Hashempour-Baltork *et al.*, 2023), així com  $\beta$ -glucans i manans, que formarien part de la fibra dietètica no soluble, la qual està relacionada amb la salut gastrointestinal i amb la reducció d'algunes malalties (Wang *et al.*, 2023). La micoproteïna és ben tolerada pels humans i amb un baix potencial al·lergogen (Kurek *et al.*, 2022). No hi ha estudis que apuntin a efectes adversos pel seu consum a mitjà o llarg termini (Hashempour-Baltork *et al.*, 2023).
- **Sensorials:** la micoproteïna té unes propietats sensorials superiors als altres anàlegs carnis i una major acceptació per part del consumidor. En destaca la seva textura fibrosa que imita satisfactòriament les fibres de la carn (Wikandari *et al.*, 2023). Cal remarcar també que les micoproteïnes no tenen gust ni color, la qual cosa les fa molt atractives per a l'elaboració d'anàlegs carnis (en contraposició als gustos lleguminosos que deixen la soja o el pèsol) (Singh i Sit, 2022).
- **Productius:** els fongs són relativament fàcils de fer créixer en un entorn controlat i són els microorganismes amb la major capacitat de produir proteïnes (per sobre dels bacteris) (Alexander *et al.*, 2017). Amb l'objectiu de reduir el cost de producció, es busquen substrats més econòmics que la glucosa, com els

subproductes de la indústria alimentària (Wikandari *et al.*, 2023).

- **Mediambientals:** la producció de micoproteïnes requereix menor ús d'aigua i terra (94%), i genera menys GEH (95%) que la producció de bestiar (Wikandari *et al.*, 2023).

## INSECTES

Anàlisis d'isòtops en ossos demostren que el consum d'insectes està molt lligat a l'evolució humana i es calcula que actualment es consumeixen més de dues mil espècies d'insectes a cent dinou països (principalment a Àsia, Àfrica i Amèrica Llatina) (Alexander *et al.*, 2017). La FAO ha estudiat extensivament els avantatges del consum d'insectes, tenint en compte els aspectes culturals, econòmics, productius, nutricionals i de seguretat alimentària. No obstant això, als països occidentals, el consum d'insectes encara es percep com una pràctica desagradable i els consumidors d'aquests països presenten una molt baixa acceptació d'aquest tipus d'aliments. Amb l'objectiu d'augmentar l'acceptació del consumidor, els insectes es poden presentar en format de farines o concentrats de proteïnes (Alexander *et al.*, 2017), que poden ser utilitzats com a ingredients per a l'elaboració d'anàlegs carnis. En general, el procés d'extracció de proteïna dels insectes consta de cinc etapes: 1) pretractament de la matèria primera (assecat, molta o tamisat), 2) desgreixament, 3) solubilització/recuperació de la proteïna, 4) purificació de la proteïna i 5) procés d'assecat (Queiroz *et al.*, 2023).

En els darrers anys ha augmentat molt l'interès i els estudis dels insectes com a font de proteïna alternativa, ja que presenten tot un seguit d'avantatges que els fa molt atractius com a solució de futur per a pal·liar els efectes negatius de la producció de carn i per a complir amb la demanda creixent de proteïna:

- Poden transformar fonts orgàniques de baix valor (despelles d'animals i subproductes de la indústria) en biomassa rica en proteïnes (Miron *et al.*, 2023).
- El contingut en proteïnes és de 40-60%, depenent de l'espècie d'insecte i el tractament d'extracció emprat. Aquestes proteïnes contenen tots els aminoàcids essencials i són comparables a les dels mamífers (Vauterin *et al.*, 2021).
- A més de la proteïna, són rics en greixos i micronutrients (coure, ferro, magnesi, manganès, seleni, zinc i diverses vitamines) (Alexander *et al.*, 2017).

- La cria d'insectes és molt més sostenible que la de mamífers, degut a la seva reduïda emissió de GEH, contaminació d'aigües i ús de terra.
- Els insectes no utilitzen energia per al manteniment de la temperatura corporal, per la qual cosa són molt eficients en la producció de proteïna (Vauterin *et al.*, 2021).
- Els insectes són molt més eficients que els mamífers en la conversió d'aliments: per exemple, en el cas del grill només es necessiten 2,2 kg d'aliment per a generar 1 kg d'insecte (Queiroz *et al.*, 2023).
- La fracció d'insecte consumit és del 100%, en comparació amb el 40% del bestiar convencional (Alexander *et al.*, 2017).
- Els insectes tenen una taxa de fertilitat molt més gran que la dels mamífers, poden tenir descendències de milers d'individus. A més, els insectes arriben a la maduresa en qüestió de mesos, a diferència del bestiar convencional, que triga anys (Alexander *et al.*, 2017).
- Estudis recents demostren el potencial de la proteïna d'insecte quant a funcionalitat: solubilitat, gelificant, formació d'escumes i emulsionant (Queiroz *et al.*, 2023).
- Estudis recents mostren que la proteïna d'insecte pot ser tractada amb extrusió d'alta humitat per a obtenir estructures fibroses. La combinació de proteïna d'insecte amb proteïna de soja podria millorar molt el perfil proteic dels anàlegs carnis (Kiiru *et al.*, 2020).

Tot i aquests notables avantatges, el consum d'insectes primer haurà de superar alguns obstacles importants. A banda de l'avversió general del consumidor occidental, aquesta font d'aliment està considerada «nou aliment» (*novel food*) i, per tant, necessita el permís i l'autorització de l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA, de l'anglès European Food Safety Authority) per a comercialitzar-se. Cada espècie i cada presentació s'han de sotmetre a l'anàlisi de l'EFSA per assegurar-ne la seguretat alimentària abans d'arribar al mercat. A data d'avui, només quatre espècies estan permeses a Europa sota el Reglament (UE) 2015/2283: larves de *Tenebrio molitor* (cuc de la farina), *Locusta migratoria* (llagosta migratòria), *Acheta domesticus* (grill domèstic) i d'*Alphitobius diaperinus* (popularment conegut com escarabat dels fems). En general, les presentacions autoritzades són: congelats, dessecats i en pols (Ismail *et al.*, 2020).



Per aquestes raons, es tendeix a pensar que la proteïna d'insecte tindrà més pes en l'alimentació animal (pinso per al bestiar o per a l'aqüicultura) que en l'alimentació humana.

## MICROALGUES

Les microalgues són organismes unicel·lulars de mida microscòpica (2-200 µm) que habiten aigües dolces i salades. En general, són organismes fotoautòtrofs: obtenen l'energia de la llum (a través de la fotosíntesi) i es desenvolupen a partir de matèria inorgànica.

El consum humà de microalgues no és nou. La cultura xinesa i alguns indígenes fa segles que en consumeixen pel seu valor nutricional en temps de fam (Wang *et al.*, 2021). Tot i així, el cultiu intensiu no va començar fins la segona meitat de segle xx. Existeixen milers d'espècies de microalgues, tot i que són poques les que els humans han domesticat i cultivat. Els gèneres més comuns són *Chlorella* i *Spirulina*. Fins avui, el cultiu de microalgues ha sigut aplicat a diversos camps industrials, com la producció de biodièsel, el tractament d'aigües, la cosmètica i els suplementes alimentaris. Recentment, s'ha vist el potencial de les microalgues com a una prometedora font de proteïnes alternatives degut als avantatges mediamientals i nutricionals que tenen (Fu *et al.*, 2021).

Les microalgues es poden cultivar en grans piscines obertes o en reactors tancats. Requereixen llum, temperatures elevades i nutrients inorgànics per a créixer. La textura original de les microalgues és líquida, així que el primer pas és descartar tota l'aigua fins a obtenir una biomassa rica en proteïna. Posteriorment, s'asseca i es mol fins a l'obtenció d'una farina que es pot utilitzar directament per alimentació o a la qual es pot fer algun altre tipus de processament preliminar.

El cultiu de microalgues pot ser una bona estratègia per a pal·liar els efectes adversos sobre el medi ambient, ja que utilitzen les emissions humanes per al seu creixement: poden convertir CO<sub>2</sub> en macromolècules com proteïnes. Tenen un gran ritme de creixement, major que el de les plantes terrestres, i produeixen més proteïnes que altres cultius com la soja, els llegums o el blat (Caporgno *et al.*, 2020). A més, es poden adaptar a diverses condicions ambientals, cosa que fa que el cultiu de microalgues es pugui donar a sòls, aigües o climes que no serien aptes per als cultius vegetals tradicionals (Amorim *et al.*, 2021).

Les microalgues cultivades poden arribar a tenir quantitats de proteïna de fins al 40-60% del seu pes sec dependent de l'espècie i les condicions de cultiu (Wang *et al.*, 2021). A més, aquesta proteïna és d'un valor biològic similar a la caseïna de la llet i superior al de la soja, i té una alta funcionalitat per emulsionar i formar gels (Kurek *et al.*, 2022). Tanmateix, contenen lípids poliinsaturats omega 3, pèptids, polifenols antioxidants, minerals i vitamines. La *Chlorella* fins i tot conté vitamines D i B<sub>12</sub>, que estan absents en les proteïnes vegetals (Bakhsh *et al.*, 2023).

En general, les microalgues són ingredients prometedors pels anàlegs carnis degut al seu valor nutricional i a les seves eficaces ràtios de creixement (Fu *et al.*, 2021), i s'espera que el mercat de les microalgues es desenvolupi a bon ritme els propers anys (Wang *et al.*, 2021). Tot i així, el cultiu de microalgues per a l'alimentació humana encara està en una fase molt preliminar i primer s'hauran de resoldre diverses dificultats tecnològiques.

El cultiu de microalgues per a la producció industrial de biomassa és complex i encara està en desenvolupament si es compara amb l'agricultura convencional. Perquè el cultiu de microalgues sigui exitós, caldrà que els costos de producció siguin similars als dels cultius tradicionals. No obstant això, ara com ara, el cultiu de microalgues no s'ha estès industrialment i això fa que encara sigui econòmicament costós. Els alts costos de producció es deuen a la necessitat d'uns sistemes específics i complexos per a mantenir les cèl·lules de les microalgues a ple rendiment per a l'obtenció de biomassa. Val a dir que els costos també s'associen a l'alt consum d'energia necessari per al procés d'assecat i extracció de lípids de la biomassa.

Malgrat els avantatges nutricionals de les microalgues, estudis preliminars amb extrusió d'alta humitat demostren que la biomassa de les microalgues té una falta important de textura (Palanisamy *et al.* 2019) i sembla que seria necessària la seva barreja amb proteïnes vegetals, com la soja, per a aconseguir una bona texturització (Grahl *et al.* 2018). A més, diverses espècies de microalgues posseeixen gust marí i un potent color verd fosc, fet que en dificulta l'ús com a ingredient alimentari (Becker, 2007). Algunes solucions que s'estan investigant són: fer el cultiu a les fosques (per tal que la clorofil·la es desenvolupi menys, cosa que també atenuaria el sabor tan fort) o realitzar un procés de purificació final més potent.

## SITUACIÓ ACTUAL I PERSPECTIVES DE FUTUR

L'interès per les proteïnes alternatives i els anàlegs carnis està augmentant ràpidament els darrers anys en un fenomen que es coneix com a «transició proteica». Així ho demostren el creixent nombre de notícies, congressos, estudis, *start-ups* i inversions en aquest camp. El principal mercat dels anàlegs carnis ha estat Europa, que el 2019 va presentar la EU Protein Strategy, on s'encoratjava l'ús de proteïnes alternatives. Cal destacar que, contràriament al que es pensa, l'augment del consum d'anàlegs carnis no és atribuïble exclusivament a la població que segueix una alimentació vegetariana o vegana, sinó que respon principalment als consumidors omnívors que volen disminuir el consum de productes de base animal perquè són coneixedors dels seus inconvenients. Actualment, la presència d'anàlegs carnis al mercat és àmplia, tot i que s'ha focalitzat principalment en productes *plant-based*, amb una mínima presència de productes a partir de micoproteïnes, i encara una nul·la presència de carn cultivada, insectes i microalgues. Tal com s'ha vist, les cinc fonts de proteïnes alternatives tenen uns

avantatges i uns inconvenients (vegeu la taula 2) que poden explicar el seu desigual avenç.

El futur dels anàlegs carnis al mercat és òbviament incert, però nombroses consultories internacionals estan duent a terme interessants previsions per als propers anys:

- **Barclays:** el 2029 el 10 % del mercat global de la carn estarà cobert per anàlegs carnis.
- **Mordor Intelligence:** entre 2016 i 2029 hi haurà un creixement mitjà del 10,85 % dels anàlegs carnis.
- **Kearney:** el 2040 només el 40 % del mercat carni mundial serà atribuït a la carn tradicional, mentre que la carn cultivada coparà el 35 % i els *plant-based* el 25 % (vegeu la figura 1).

No obstant això, actualment comencen a aparèixer estudis que es distancien de les excessivament optimistes previsions i que postulen que les proteïnes alternatives no reduiran el consum carni, que calen altres mesures (Siegrist i Hartmann, 2023). Així, tot i els coneguts beneficis de salut i ambientals, canviar les preferències del

Taula 2. Resum dels avantatges i inconvenients actuals de les cinc fonts de proteïna alternativa

	AVANTATGES	INCONVENIENTS
PLANT-BASED	Àmplia implementació al mercat	Ús comú d'al·lèrgens (soja, gluten)
	Acceptació per part del consumidor	Llarga llista d'ingredients i additius (es comencen a percebre com a aliments ultraprocessats)
	L'extrudit de proteïnes vegetals dona força bons resultats de fibrositat	La proteïna texturitzada pot donar gustos no agradables
CARN CULTIVADA	Obtenció de cèl·lules musculars i grasses idèntiques a les animals	Necessitat d'instal·lacions sofisticades i de coneixements profunds de biotecnologia
	Mateix perfil nutricional i sensorial que la carn	Barreres reguladores per part de l'Administració
	El consumidor no ha de renunciar a menjar «carn»	Preu molt elevat
MICOPROTEÏNES	Sabors i colors molt neutres	Desconfiança per part del consumidor
	Aporten una fibrositat molt semblant a la càrnia	Escassa disponibilitat al mercat
		Necessitat d'instal·lacions i equips costosos que requereixen força espai i un alt consum energètic
INSECTES	Font proteica d'alta qualitat	Llarga llista d'ingredients i additius
	Alta taxa de fertilitat, creixement i conversió en proteïnes	Baixa acceptació del consumidor pel xoc cultural
		Barreres reguladores per part de l'Administració
MICROALGUES	Continguts de proteïna entre 40-60 % del pes sec	S'ha d'estudiar l'al·lergicitat
	Contenen interessants components des del punt de vista nutricional (omega 3, minerals i vitamines)	No aptes per a vegetarians i vegans
	Major rendibilitat i ràtio de creixement que els cultius tradicionals (soja, llegums o blat)	Els texturitzats manquen de fibrositat
		Pot deixar colors verdosos i gustos marins
		Encara no està industrialitzada, cosa que fa que encara sigui cara

Font: Elaboració pròpia.

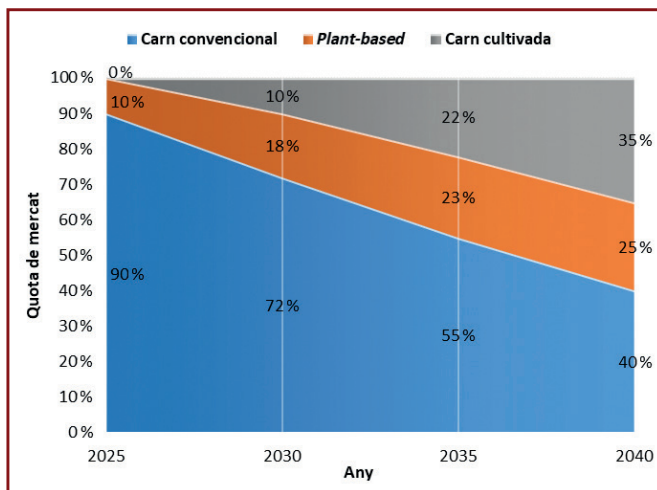


Figura 1. Previsions del repartiment de la quota de mercat de la carn convencional, els productes *plant-based* i la carn cultivada a través dels anys. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'informe *How will cultured meat and meat alternatives disrupt the agricultural and food industry?*, del 2019, de la consultoria AT Kearney (vegeu <https://www. Kearney.com/documents/291362523/291366549/How+Will+Cultured+Meat+and+Meat+Alternatives+Disrupt+the+Agricultural+and+Food+Industry.pdf?t=1559860712714>).

consumidor cap a una dieta baixa en carn és complicat per les seves associacions culturals i socials. Tot i que hi ha evidències de l'increment de dietes amb reducció de carn als països occidentals, en termes globals, el consum mitjà *per capita* de productes carnis segueix augmentant any rere any (Alexander *et al.*, 2017).

En termes generals, alguns dels factors limitants dels anàlegs carnis seran:

- **Neofòbia:** l'acceptació per part del consumidor de productes nous que no coneix serà el principal escull per a l'avenç dels anàlegs carnis.
- **Nomenclatura:** la discussió sobre com anomenar aquests productes també marcarà el destí dels anàlegs carnis. Així, països veïns com França i Itàlia han presentat recentment esmenes per a prohibir els usos de les nomenclatures càrnies per aquesta categoria de productes.
- **Formats de presentació:** actualment només podem trobar anàlegs carnis en formats de «picats». D'aquesta manera, la categoria seria molt limitada i no abastaria el mercat de les peces senceres.
- **Categoria dels productes:** si es segueix la tendència actual (processos, ingredients i additius), els anàlegs carnis cauran en la categoria dels aliments ultraprocesats, la qual cosa pot deixar-los amb una molt baixa quota de mercat.

- **Preu:** si els anàlegs carnis volen triomfar al lineal del supermercat, hauran d'aconseguir oferir el mateix preu, o fins i tot inferior, que els productes carnis tradicionals.

D'aquesta manera, semblaria que el progrés dels anàlegs carnis seguiria el típic esquema de sobreexpectació de les tecnologies emergents (vegeu la figura 2). Els primers anys de vida (2010-2020) hi ha una pujada ràpida i desmesurada de les expectatives. Seguidament hi ha una etapa (2020-2025) de rebaixament de les esperances, la qual es veu especialment accentuada per la situació global del món (pandèmia covid, guerra Rússia-Ucraïna, augment del preu de les matèries primeres i l'energia, que culminen en una forta inflació). La propera fase (2025-2040) hauria de consistir en un creixement més estable, madur i realista, que donaria pas a una nova categoria d'aliments ben consolidada i posicionada al mercat.

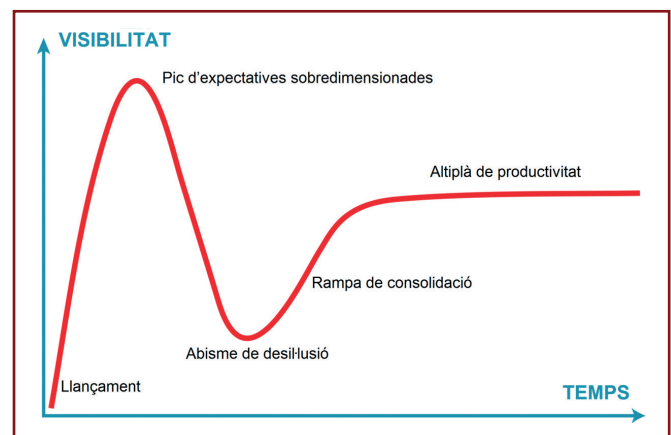


Figura 2. Cicle de sobreexpectació (Gartner hype cycle). Font: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Cicle\\_de\\_sobreexpectació](https://ca.wikipedia.org/wiki/Cicle_de_sobreexpectació).

## BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, P.; BROWN, C.; ARNETH, A.; DIAS, C.; FINNIGAN, J.; MORAN, D.; ROUNSEVELL, M. (2017). «Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use?». *Global Food Security* [en línia], 15, p. 22-32. <<https://doi.org/Doi:10.1016/j.gfs.2017.04.001>>.
- AMORIM, M. L.; SOARES, J.; COIMBRA, J. S. DOS R.; LEITE, M. DE O.; ALBINO, L. F. T.; MARTINS, M. A. (2021). «Microalgae proteins: Production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en línia], 61 (12), p. 1976-2002. <<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768046>>.
- BAKSH, A.; PARK, J.; BARITUGO, K. A.; KIM, B.; SIL MOON, S.; RAHMAN A.; PARK S. (2023). «A holistic approach toward development of plant-based meat alternatives through incorporation of novel microalgae-based ingredients». *Frontiers in Nutrition* [en línia], 10, article 1110613. <<https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1110613>>.
- BECKER, E. W. (2007). «Micro-algae as a source of protein». *Biotechnology Advances* [en línia], 25 (2), p. 207-210. <<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>>.
- BOHRER, B. M. (2019). «An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products». *Food Science and Human Wellness* [en línia], 8 (4), p. 320-329. <<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>>.

- BOUKID, F. (2021). «Plant-based meat analogues: from niche to mainstream». *European Food Research and Technology* [en línia], 247, p. 297-308. <<https://doi.org/10.1007/s00217-020-03630-9>>.
- CAPORGNO, M. P.; BÖCKER, L.; MÜSSNER, C.; STIRNEMANN, E.; HABERKORN, I.; ADELMANN, H.; HANDSCHIN, S.; WINDHAB, E. J.; MATHYS, A. (2020). «Extruded meat analogues based on yellow, heterotrophically cultivated *Auxenochlorella protothecoides* microalgae». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* [en línia], 59, article 102275. <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102275>>.
- CARTER, M.; COHEN, M.; EASTHAM, L.; GERTNER, D.; IGNASZEWSKI, E.; LEMAN, A.; MURRAY, S.; O'DONNELL, M.; PIERCE, B.; VOSS, S. (2023). *2022 State of the industry report. Fermentation: Meat, seafood, eggs, and dairy* [en línia]. Whashington: The Good Food Institute. <<https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/2022-Fermentation-State-of-the-Industry-Report-1.pdf>> [Consulta: 23 octubre 2023].
- CORTÉS, C.; CUBERO, N.; GÓMEZ, L.; MONFERRER, A. (2023). *Modificando la textura de los alimentos. Manual de uso de los hidrocoloides*. 2a ed. Madrid: Díaz de Santos.
- ELZERMAN, J. E.; HOEK, A. C.; BOEKEL, M. A. J. S. van; LUNING, P. A. (2011). «Consumer acceptance and appropriateness of meat substitutes in a meal context». *Food Quality and Preference* [en línia], 22 (3), p. 233-240. <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.10.006>>.
- FIDDER, L.; GRAÇA, J. (2023). «Aligning cultivated meat with conventional meat consumption practices increases expected tastefulness, naturalness, and familiarity». *Food Quality and Preference* [en línia], 109 (1), article 104911. <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104911>>.
- FONT-I-FURNOLS, M.; GUERRERO, L. (2014). «Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview». *Meat Science* [en línia], 98 (3), p. 361-371. <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.025>>.
- FU, Y.; CHEN, T.; CHEN, S. H. Y.; LIU, B.; SUN, P.; SUN, H.; CHEN, F. (2021). «The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues». *Trends in Food Science and Technology* [en línia], 112, p. 188-200. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>>.
- GRAHL, S.; PALANISAMY, M.; STRACK, M.; MEIER-DINKEL, L.; TOEPFL, S.; MORLEIN, D. (2018). «Towards more sustainable meat alternatives: How technical parameters affect the sensory properties of extrusion products derived from soy and algae». *Journal of Cleaner Production* [en línia], 198, p. 962-971. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.041>>.
- HASHEMPOUR-BALTORK, F.; JANNAT, B.; DADGARNEJAD, M.; MIRZA ALIZADEH, A.; KHOSRAVI-DARANI, K.; HOSSEINI, H. (2023). «Mycoprotein as chicken meat substitute in nugget formulation: Physicochemical and sensorial characterization». *Food Science & Nutrition* [en línia], 11 (7), p. 4289-4295. <<https://doi.org/10.1002/fsn3.3354>>.
- HASHEMPOUR-BALTORK, F.; KHOSRAVI-DARANI, K.; HOSSEINI, H.; FARSHI, P.; REIHANI, S. F. S. (2020). «Mycoproteins as safe meat substitutes». *Journal of Cleaner Production* [en línia], 253, article 119958. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119958>>.
- ISHAQ, A.; IRFAN, S.; SAMEEN, A.; KHALID, N. (2022). «Plant-based meat analogues: a review with reference to formulation and gastrointestinal fate». *Current Research in Food Science* [en línia], 5, p. 973-983. <<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.06.001>>.
- ISMAIL, I.; HWANG, Y.-H.; JOO, S.-T. (2020). «Meat analog as future food: A review». *Journal of Animal Science and Technology* [en línia], 62 (2), p. 111-120. <<https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.2.111>>.
- KIIRU, S. M.; KINYURU, J. N.; KIAGE, B. N.; MARTIN, A.; MAREL, A. K.; OSEN, R. (2020). «Extrusion texturization of cricket flour and soy protein isolate: Influence of insect content, extrusion temperature, and moisture-level variation on textural properties». *Food Science & Nutrition* [en línia], 8 (8), p. 4112-4120. <<https://doi.org/10.1002/fsn3.1700>>.
- KOŁODZIEJCZAK, K.; ONOPIUK, A.; SZPICER, A.; POLTORAK, A. (2022). «Meat analogues in the perspective of recent scientific research: A review». *Foods* [en línia], 11 (1), article 105. <<https://doi.org/10.3390/foods11010105>>.
- KUREK, M. A.; ONOPIUK, A.; POGORZELSKA-NOWICKA, E.; SZPICER, A.; ZALEWSKA, M.; PÓLTORAK, A. (2022). «Novel protein sources for applications in meat-alternative products - Insight and challenges». *Foods* [en línia], 11 (7), article 957. <<https://doi.org/10.3390/foods11070957>>.
- LEE, D.-K.; KIM, M.; JEONG, J.; LEE, Y.-S.; YOON, J. W.; AN, M.-J.; JUNG, H. Y.; KIM, C. H.; AHN, Y.; CHOI, K.-H.; JO, C.; LEE, C.-K. (2023). «Unlocking the potential of stem cells: Their crucial role in the production of cultivated meat». *Current Research in Food Science* [en línia], 7, article 100551. <<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100551>>.
- 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* [en línia], 33 (10), p. 1533-1543. <<https://doi.org/10.5713/ajas.20.0419>>.
- MATAS, G.; GOU, P. (2022). «Análogos cárnicos: extrusionados con baja y alta humedad». *Eurocarne* [Madrid], 305, p. 47-52.
- MCAFFEE, A. J.; MCSORLEY, E. M.; CUSKELLY, G. J.; MOSS, B. W.; WALLACE, J. M. W.; BONHAM, M. P.; FEARON, A. M. (2010). «Red meat consumption: An overview of the risks and benefits». *Meat Science* [en línia], 84 (1), p. 1-13. <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.029>>.
- MIRON, L.; MONTEVECCHI, G.; MACAVEI, L. I.; MAISTRELLO, L.; ANTONELLI, A.; THOMAS, M. (2023). «Effect of black soldier fly larvae protein on the texture of meat analogues». *LWT - Food Science and Technology* [en línia], 181, article 114745. <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114745>>.
- PALANISAMY, M.; TÖPFL, S.; BERGER, R. G.; HERTEL, C. (2019). «Physicochemical and nutritional properties of meat analogues based on *Spirulina*/lupin protein mixtures». *European Food Research and Technology* [en línia], 245 (9), p. 1889-1898. <<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03298-w>>.
- PEREIRA, P. M. DE C. C.; VICENTE, A. F. DOS R. B. (2013). «Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet». *Meat Science* [en línia], 93 (3), p. 586-592. <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>>.
- QUEIROZ, L. S.; SILVA, N. F. N.; JESSEN, F.; MOHAMMADIFAR, M. A.; STEPHANI, R.; CARVALHO, A. F. DE; PERRONE, Í. T.; CASANOVA, F. (2023). «Edible insect as an alternative protein source: a review on the chemistry and functionalities of proteins under different processing methods». *Heliyon* [en línia], 9 (4), article e14831. <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14831>>.
- SIEGRIST, M.; HARTMANN, C. (2023). «Why alternative proteins will not disrupt the meat industry». *Meat Science* [en línia], 203, article 109223. <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109223>>.
- SINGH, A.; SIT, N. (2022). «Meat analogues: Types, methods of production and their effect on attributes of developed meat analogues». *Food and Bioprocess Technology* [en línia], 15 (12), p. 2664-2682. <<https://doi.org/10.1007/s11947-022-02859-4>>.
- VAUTERIN, A.; STEINER, B.; SILLMAN, J.; KAHILUOTO, H. (2021). «The potential of insect protein to reduce food-based carbon footprints in Europe: The case of broiler meat production». *Journal of Cleaner Production* [en línia], 320, article 128799. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128799>>.
- WANG, J.; ZHANG, J.; WANG, S.; LIU, W.; JING, W.; YU, H. (2023). «Isolation and extraction of monomers from insoluble dietary fiber». *Foods* [en línia], 12 (13), article 2473. <<https://doi.org/10.3390/foods12132473>>.
- WANG, Y.; TIBBETTS, S. M.; MCGINN, P. J. (2021). «Microalgae as sources of high-quality protein for human food and protein supplements». *Foods* [en línia], 10, article 3002. <<https://doi.org/10.3390/foods10123002>>.
- WIKANDARI, R.; TANUGRAHA, D. R.; YASTANTO, A. J.; MANIKHARDA; GMO-SER, R.; TEIXEIRA, J. A. (2023). «Development of meat substitutes from filamentous fungi cultivated on residual water of tempeh factories». *Molecules* [en línia], 28 (3), article 997. <<https://doi.org/10.3390/molecules28030997>>.
- ZAHARI, I.; ÖSTBRING, K.; PURHAGEN, J. K.; RAYNER, M. (2022). «Plant-based meat analogues from alternative protein: a systematic literature review». *Foods* [en línia], 11 (18), article 2870. <<https://doi.org/10.3390/foods11182870>>.
- ZENG, B.; NILSSON, K.; TEIXEIRA, P. G.; BERGENSTÄHL, B. (2023). «Study of mycoprotein extraction methods and its functional properties». *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [en línia], 659, article 130800. <<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.130800>>.
- ZHOU, G.; DING, S.; XU, X. (2020). «Progress and challenges in cultured meat». *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology* [en línia], 20 (5), p. 1-11. <<https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2020.05.001>>.