

Com la intel·ligència artificial dibuixa el nostre futur alimentari



ASSOCIACIÓ CATALANA DE
CIÈNCIES DE L'ALIMENTACIÓ
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

SIBO: diagnòstics, tractaments i enfocaments actuals

***Tenebrio molitor* com a font de proteïna
per a l'elaboració d'anàlegs carnis**



ASSOCIACIÓ CATALANA DE CIÈNCIES DE L'ALIMENTACIÓ

Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Som una associació científica multidisciplinària, formada per professionals interessats en l'estudi, el desenvolupament i la difusió de coneixements sobre les ciències de l'alimentació en tots els seus aspectes. La nostra associació pertany a l'IEC, com a societat filial adscrita a la Secció de Ciències Biològiques.

Des de 1979 fomentem tota mena d'activitats relacionades amb el món de la salut i la seguretat alimentària, en les terres de llengua i cultura catalanes. Organitzem conferències i jornades tècniques en col·laboració amb grups de recerca i altres entitats del nostre àmbit.

Promovem la publicació de la revista **TECA: TECNOLOGIA I CIÈNCIA DELS ALIMENTS**, gratuïta per als socis, que té el propòsit de fomentar la relació entre els associats de l'ACCA i promoure l'intercanvi de coneixements.

Oferim als estudiants eines per al seu desenvolupament professional i els facilitem el contacte amb experts del sector de l'alimentació. Tenim presència al web i a les xarxes socials de l'ACCA per tal de ser un referent davant la societat catalana en les qüestions que contínuament apareixen sobre l'alimentació i la seguretat alimentària.

Accés obert a <https://revistes.iec.cat/index.php/TECA>

Web: acca.iec.cat

Instagram: [@ACCA_iec](https://www.instagram.com/ACCA_iec)

Bluesky: [@acca.iec.cat](https://bsky.app/profile/acca.iec.cat)

TECA

Revista editada per:

ACCA Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació, filial de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC)

Desembre 2025, Volum 24-25

Coordinació editorial: Carolina Ripollés Ávila

© dels autors dels articles

© ACCA Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació, filial de l'Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Imatge de la coberta: il·lustració elaborada amb intel·ligència artificial que presenta, en primer pla, l'estructura molecular d'una proteïna vegetal i, al fons, una imatge relacionada amb la sostenibilitat, l'agricultura regenerativa i la salut.

Text revisat lingüísticament per la Unitat d'Edició del Servei Editorial de l'IEC

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Imprès a Ediciones Gráficas Rey, SL

ISSN: 2013-987X (edició electrònica)

ISSN: 1137-7976 (edició impresa)

Dipòsit Legal: B. 46874-1996



Els continguts de **TECA** estan subjectes —llevat que s'indiqui el contrari en el text o en el material gràfic— a una llicència Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades 3.0 Espanya de Creative Commons, el text complet de la qual es pot consultar a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/es/deed.ca>. Així doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada.



ASSOCIACIÓ CATALANA DE
CIÈNCIES DE L'ALIMENTACIÓ

Filiat de l'Institut d'Estudis Catalans

**JUNTA DIRECTIVA ACCA
(2025-2029)**

PRESIDENTA

Montserrat Banqué i Molas

VICEPRESIDENT

Miquel Bonet Pocino

TRESORER

Joan Ramon Hidalgo Moya

SECRETÀRIA

Alícia Santamaria Orleans

VOCALS

Oriol Comas-Basté

Eva Espona Malet

Elena Fulladosa i Tomàs

Manel Martín Palomas

Francesc Puiggròs Llavínés

Carolina Ripollés Ávila

Robert Soliva Fortuny

Eulàlia Vidal Garcia

Sandra Vidal Lletjós

COMITÈ DE PUBLICACIONS TECA

Carolina Ripollés Ávila

Manel Martín

CONTACTE

ACCA Secretaria: Roser Rodríguez Vila

acca@iec.cat

Institut d'Estudis Catalans

Carrer del Carme, 47

08001 Barcelona

Telèfon: +34 933 248 580

SUMARI

02 EDITORIAL

Montserrat Rivero i Urgell i Montserrat Banqué Molas

06 SIBO: DIAGNÒSTICS, TRACTAMENTS I ENFOCAMENTS ACTUALS

Irene Rubio-Pérez, Guillem Gervilla-Cantero i Carolina Ripolles-Avila

17 TENEBRIO MOLITOR COM A FONT DE PROTEÏNA

PER A L'ELABORACIÓ D'ANÀLEGS CARNIS

Àlvar Gràcia, Irina Elena Chiriac, Cristina Fabregat i Montse Jorba

29 MÈTODES ÒPTICS PER A LA DETECCIÓ DE BIOFILMS *IN SITU*

Nuria de Francisco Camprubí, Bernat Perez-Playà, Carolina Ripolles-Avila

i Manuel Castillo

**40 REGIÓ MUNDIAL DE LA GASTRONOMIA 2025: CUINA CATALANA
AMB ARRELS I FUTUR**

Montserrat Rivero i Urgell, Pere Castells Esqué, Claudi Mans i Teixidó,

Eulàlia Vidal Garcia i Oriol Comas Basté

48 MILLORES BIOTECNOLÒGIQUES EN ELS LLEVATS CERVESERS

Guillem Ruiz i Jordi Saldo

**56 ÚS DE GREIXOS TOTALMENT HIDROGENATS EN LA FORMULACIÓ
D'ALIMENTS: ESTAT ACTUAL**

Pol Bronchud Malagón

60 ELABORACIÓ D'UN RECEPTARI PER A PACIENTS AMB DISFÀGIA

Abril Rigall Forés

**63 ÍNDEX I CÀRREGA GLUCÈMICA DIETÈTICA DURANT L'EMBARÀS
I RESULTATS CONDUCTUALS DE LA DESCENDÈNCIA: EXPLORANT
LES DIFERÈNCIES DE SEXE**

Esther Cendra-Duarte, Josefa Canals, Nerea Becerra-Tomás, Javier Mateu-Fabregat,

Mònica Bulló i Victoria Arijá

**66 POTENCIAL DE L'ELECTROPOLVORITZACIÓ EN LA INDÚSTRIA
ALIMENTÀRIA**

Bernat Perez-Playà, Anna Zamora, Llibertat Abad i Manuel Castillo

**70 INSECTES EN PRODUCTES EXTRUDITS: UNA APLICACIÓ
AMB GRAN POTENCIAL**

Arnau Vilas-Franquesa, Idoia Codina-Torrella i Arturo Blázquez Soro

74 SABIES QUE...

81 BENVINGUDA ALS NOUS SOCIS I SÒCIES

82 ACTIVITATS 2024-2025

85 COMUNICACIÓ

86 PUBLICAR A TECA

88 VOLS FER-TE SOCI/SÒCIA DE L'ACCA?

88 BENEFICIS PER ALS SOCIS I SÒCIES DE L'ACCA

Editorial



Benvolgudes sòcies i benvolguts socis, m'adreço a tots vosaltres per darrera vegada com a presidenta de l'ACCA del període 2021-2025, després de l'assemblea general ordinària en què va ser proclamada, seguint els nostres estatuts, la nova Junta per als propers anys, fins al 2029. Aprofito aquest editorial perquè tots els membres de la Junta sortint ens acomiadem.

Han estat uns anys de molta feina, feta amb il·lusió i dedicació de tots els membres de la Junta sortint, que, com sabeu, hem treballat en comissions.

Com a presidenta de l'ACCA voldria destacar la meua assistència a **21** plens convocats per l'IEC, amb la participació de tots els membres i les filials, **24** reunions de la Secció Catalana de Ciències Biològiques (SCCB) i **20** reunions de la nostra Junta.

Durant aquests quatre anys hem organitzat, participat o assistit a **217** actes, jornades, tallers, sortides i activitats diverses.

Cal agrair els esforços dels membres de la Junta, que, representant el territori català, ha organitzat visites als centres de recerca com l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA) a Girona, Eurecat a Reus (Tarragona) i al congrés «Repensant la producció d'aliments del futur: sostenibilitat, seguretat i salut» a Lleida.

Hem fet un **vídeo** de presentació de l'ACCA per a institucions i empreses i hem fet un **lloc web** corporatiu i hem establert **xarxes** de comunicacions, inexistents fins aleshores.

Els articles sobre dones científiques internacionals i de l'entorn de l'ACCA han estat molt aplaudits, i el darrer, sobre joves investigadors de la nostra associació, ha agradat moltíssim.

Des de l'ACCA hem col·laborat amb universitats catalanes, com la Universitat de Barcelona (UB), la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), la Universitat Rovira i Virgili (URV), la Universitat de Girona (UdG), la Universitat Ramon Llull (URL) i la Universitat de Lleida (UdL), i amb altres d'espanyoles; hem dut a terme activitats amb la Generalitat de Catalunya, ajuntaments i diputacions, i hem participat en el projecte de l'àrea metropolitana de Barcelona CULTIVATE.



Figura 1. Membres de la Junta 2021-2025.

Font: Fotografia feta pel fotògraf de l'IEC a petició de l'ACCA.

Podeu trobar els detalls de totes les activitats als volums 20, 21, 22, 23 i 24-25 de la nostra revista, TECA.

Cada vegada són més nombroses i profitoses les activitats conjuntes, tant amb filials de l'IEC com amb l'Institut Català d'Estudis Agraris (ICEA), col·legis professionals com el d'economistes, acadèmies com la de farmàcia i veterinària, entre altres. L'ACCA ha participat en congressos internacionals com el de l'Organització Mundial de la Salut a Roma, el mundial de nutrició a Tòquio i de l'EFSA (Societat Europea de Seguretat Alimentària) a Berlín.

Em sembla important que sapigueu que per cinquè any l'ACCA va organitzar, juntament amb la UB i altres patrocinadors, el Science and Cooking World Congress, amb la participació de molts països americans, asiàtics i mediterranis, i al llarg del qual es va lliurar el Premi Esfèric.

Han estat destacables les col·laboracions amb el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Vull agrair que fessin a l'IEC la jornada sobre dones científiques innovadores en el sector agroalimentari, en la qual la participació de dones de l'ACCA va ser molt significativa. La nostra associació ha estat acceptada com a societat afí de la FESNAD (Federació Espanyola de Societats de Nutrició, Alimentació i Dietètica).

S'han consolidat dins del calendari anual de l'ACCA dues jornades per les seves dates representatives, com

són el 28 de maig, **dia nacional de la nutrició**, i el 16 d'octubre, **dia mundial de l'alimentació**, que, juntament amb l'assemblea i la jornada del mes de març, són tres dates imprescindibles per a la nostra associació.

Estic molt satisfeta de la signatura **d'un conveni entre l'ACCA-IEC i la Fundació del Banc dels Aliments de Barcelona**. Com a directora del seu centre d'estudis, hem format un grup de voluntaris, tots membres de l'ACCA, que estem treballant en temes d'alimentació, nutrició i malbaratament. Aquesta tasca, iniciada des de la comissió de solidaritat de l'ACCA, continuarà els propers anys i seguirem treballant plegats.

L'adhesió de l'ACCA a les celebracions i la divulgació de la distinció **Catalunya Regió Mundial de la Gastronomia 2025** han estat molt significatives, amb la realització de la jornada de la Nit de l'Alimentació. En aquesta revista trobareu un article en què s'informa àmpliament d'aquesta interessant activitat, que s'ha completat amb la realització del vídeo **Del plat al camp**.

M'acomio de tots vosaltres; estic molt feliç que una nova junta iniciï aquesta etapa amb tanta il·lusió i ganes, i a la nova presidenta, **Montserrat Banqué**, li vull dir que pot comptar amb mi per a tot.

Montserrat Rivero i Urgell

Presidenta sortint de l'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació



Figura 2. Junes sortint i entrant de l'ACCA.
Font: Fotografia personal de Montserrat Rivero.

Editorial



Com sabeu, aquest any, el 2025, i seguint els estatuts de la institució, ha suposat un canvi de Junta, però no de l'esperit que ha guiat l'ACCA. La Junta que tinc l'honor de dirigir assumeix la tasca portada a terme per les anteriors, però donant impuls a alguns punts concrets que són ara més importants que mai. La vitalitat que ha tingut la Junta presidida per Montserrat Rivero ens deixa el llistó molt alt en activitats, però també ha fet moltes connexions i col·laboracions amb entitats i persones que heretem com un valor de l'ACCA. La nova Junta vol mantenir la seva força i la inèrcia, que ens ajudarà en els reptes que tenim.

Som conscients que estem en un moment en què la societat ha de repensar els models alimentaris, ja que tenim reptes importants que, si no s'assoleixen, poden significar una crisi alimentària important; volem ajudar a conscienciar professionals i ciutadania.

Aquests reptes afecten tota la cadena alimentària, des de l'inici fins al final. Primer hem de parlar del **canvi climàtic**: l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO) ja ha advertit que augmentarà la fam i la desnutrició al món. L'escalfament global està alterant les normes actuals tant en l'agricultura com en la producció global d'aliments, que pot disminuir, però també està incidint en l'augment de plagues que ens poden afectar la seguretat alimentària. A tot això s'hi ha de sumar la **globalització dels aliments**, que ara ens poden arribar de qualsevol lloc del planeta, amb el gran cost per al medi ambient que això comporta i dels quals a vegades no controlem la idoneïtat del procés de cultiu i producció.

D'altra banda, cal mencionar el **gran creixement de la població**: segons les estimacions de les Nacions Unides, la població mundial augmentarà gairebé 2.000 milions de persones en els propers trenta anys, passarà dels 8.000 milions actuals als 9.700 milions el 2050 i podrà arribar a un pic de prop de 10.400 milions per a mitjans del 2080. Cal organitzar la producció d'aliments per assegurar una dieta saludable i sostenible i això posa al límit els sistemes actuals i crea la necessitat d'aprofitar millor els recursos del planeta de manera generalitzada. Però això es veu afectat per la situació política convulsa mundial, que afecta les **polítiques internacionals alimentàries**, no sols pels corrents de les diferents ideologies, sinó

també per les guerres comercials i militars que ens afecten i que provoquen desequilibris en la repartició d'aliments.

I, finalment, ens trobem que l'alimentació, tot i ser la base de la nostra salut i la del planeta, sembla un tema fàcil en què tothom opina i dictamina tendències. Aquesta **informació profusa i confusa** cap al ciutadà fa que no sigui fàcil distingir les mentides (*fake news*) de les veritats contrastades.

Amb tot això damunt el tauler de joc, l'actuació que vol impulsar l'ACCA en els propers anys aprofita la visió multidisciplinària i integrativa sobre els diferents aspectes que afecten l'alimentació de la nostra societat i la nutrició que se'n deriva i que caracteritza la nostra associació. Entenem que només amb una visió àmplia de tots els actors que intervenen en la cadena alimentària i totes les idees de futur de cada visió podem esperar que els reptes dels nous temps s'assoleixin.

Soc conscient que l'Institut d'Estudis Catalans és per a nosaltres un bon ecosistema científic per poder desenvolupar-nos gràcies a la seva potència com a entitat de prestigi en el món intel·lectual, i mantindrem i potenciarem aquesta relació. També estem decidits a oferir la nostra col·laboració i els coneixements multidisciplinaris de l'ACCA a les autoritats i entitats de gestió del país.

Volem fer-nos ressò de la pluralitat del país i integrar representants de tot el territori català per estar més a prop de la realitat, tant de producció com de transformació industrial. Això també queda clar a la Junta, on estan implicades totes les baules de la cadena alimentària. Posem una atenció especial a representar les altres províncies i intentarem anar més lluny i fer lligams amb altres entitats dels Països Catalans. Em comprometo a afegir una mirada de gènere en totes les activitats, que potser fins ara ha estat apagada en alguns sectors de la cadena alimentària.

Necessitem la innovació i les solucions imaginatives per intentar aconseguir els reptes en l'alimentació en el moment que estem vivint. L'ACCA està molt lligada a les universitats i centres de recerca del país, amb l'objectiu de ser impulsora de talent, utilitzant per a això les jornades, xerrades i premis i buscant promocionar la tasca dels joves.

Però no només ens centrem en idees teòriques, també volem impulsar accions al sector primari, que és fonamental al nostre país. Tenim la sort de ser un territori amb molts productes alimentaris característics i ser pioners en la distinció de segells que els identifiquen. Volem ser garants dels productes i la cultura culinària catalana.

Aquesta junta també vol dirigir la seva mirada a la salut, de la població i del planeta. Volem impulsar els coneixements de la dieta saludable a tots nivells i també incidir en els tractaments nutricionals per a determinades patologies, especialment les considerades com la pandèmia del segle XXI.

És important la tasca, però també sota quin prisma es valora, i en aquest sentit volem treballar en la mateixa direcció que l'Agenda per al Desenvolupament Sostenible 2030. Treballem clarament per a alguns d'aquests objectius de desenvolupament sostenible (ODS), com són la necessitat de millorar l'agricultura i la seguretat alimentària, buscar la gestió sostenible de l'aigua, dissenyar la producció sostenible i evitar el malbaratament alimenta-

ri, la urgència de combatre el canvi climàtic i la importància vital de conservar i promoure l'ús sostenible d'ecosistemes marins i terrestres.

Finalment, tot això serviria de ben poc si no es fes una bona difusió dels missatges bàsics per arribar al màxim de gent possible, tant en l'àmbit professional com públic. Per tant, un dels grans reptes que té aquest junta és incrementar la comunicació a tots els nivells, organitzar i difondre les jornades, activitats i publicacions.

En resum, ens proposem ser referents dels temes relacionats amb l'alimentació que impliquen la nostra societat i per això tots els constituents de la Junta hi esmerçarem temps i energia. Tornem a agrair a les juntes anteriors, i especialment a Montserrat Rivero, el camí que ens han marcat i l'energia que ens deixen per continuar la tasca, i esperem que ens hi ajudeu amb la vostra participació en les activitats i les vostres opinions, ja que l'ACCA la fem entre tots.

Montserrat Banqué Molas

Presidenta de l'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació

SIBO: diagnòstics, tractaments i enfocaments actuals

SIBO: Diagnostics, treatments, and current approaches



IRENE RUBIO-PÉREZ

Graduada en ciència i tecnologia dels aliments (CTA) a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).



GUILLEM GERVILLA-CANTERO

Investigador i docent predoctoral del Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).



CAROLINA RIPOLLES-AVILA

Professora agregada Serra Húnter, Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.

RESUM: El sobrecreixement bacterià de l'intestí prim (SIBO, de l'anglès *small intestinal bacterial overgrowth*) és una alteració de la microbiota intestinal caracteritzada per una proliferació excessiva i/o anòmla de bacteris o arqueus en aquest segment intestinal, amb implicacions clíniques rellevants.

El desenvolupament del SIBO és multifactorial i inclou alteracions en la motilitat intestinal, disrupció de la barriera epitelial i presència de comorbiditats com la celiàquia, la cirrosi hepàtica, malalties inflamatòries intestinals o l'ús crònic d'inhibidors de la bomba de protons. El diagnòstic clínic es veu dificultat per la inespecificitat dels símptomes. Les proves d'alè amb glucosa o lactulosa són les més utilitzades, tot i que la seva fiabilitat és limitada. Mètodes complementaris com l'anàlisi d'aspiració jejunal o l'anàlisi de sang o femta poden millorar la precisió diagnòstica.

El tractament del SIBO s'ha d'adaptar a cada pacient. Els antibiòtics, especialment la rifaximina, i, en casos de sobrecreixement metanogen intestinal (IMO, de l'anglès *intestinal methanogen overgrowth*), combinada amb neomicina, han demostrat una eficàcia clínica significativa. La incorporació de probiòtics i prebiòtics pot ajudar a alleujar la simptomatologia, tot i que l'evidència és limitada. A més, les dietes baixes en FODMAP (de l'anglès *fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols*) han mostrat efectes beneficiosos sobre els símptomes.

ABSTRACT: *Small intestinal bacterial overgrowth (SIBO) is a disorder of the gut microbiota characterized by an excessive and/or abnormal proliferation of bacteria or archaea within this segment of the gastrointestinal tract, with significant clinical implications.*

The development of SIBO is multifactorial and involves alterations in intestinal motility, disruption of the epithelial barrier, and the presence of comorbidities such as celiac disease, liver cirrhosis, inflammatory bowel diseases, or chronic use of proton pump inhibitors. Clinical diagnosis is often challenging due to the nonspecific nature of symptoms. Breath tests using glucose or lactulose are the most commonly employed methods, although their reliability is limited. Complementary techniques such as jejunal aspirate cultures, blood tests, and stool analysis can enhance diagnostic accuracy.

SIBO treatment must be individualized. Antibiotics – particularly rifaximin, and in cases of IMO (intestinal methanogen overgrowth), in combination with neomycin – have shown significant clinical efficacy. The inclusion of probiotics and prebiotics may help alleviate symptoms, although the supporting evidence is limited. Additionally, low-FODMAP (fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols) diets have demonstrated symptomatic benefits, provided they are applied temporarily and under supervision to prevent nutritional deficiencies.

tomes, sempre que s'apliquin de manera temporal i supervisada per evitar dèficits nutricionals.

La gestió del SIBO ha de ser integral i personalitzada, combinant estratègies diagnòstiques acurades amb intervencions terapèutiques adaptades que integrin antibiòtics, suport nutricional i moduladors de la microbiota.

PARAULES CLAU: SIBO, microbiota intestinal, dieta FODMAP, probiòtics, disbiosi, antibioteràpia dirigida.

SIBO management should be comprehensive and personalized, combining accurate diagnostic strategies with tailored therapeutic interventions that integrate antibiotics, nutritional support, and microbiota modulators.

KEYWORDS: SIBO, gut microbiota, FODMAP diet, probiotics, dysbiosis, targeted antibiotic therapy.

1. INTRODUCCIÓ

En les últimes dècades, els trastorns gastrointestinals han adquirit una rellevància creixent tant en l'àmbit científic com en el social, a causa de la seva elevada prevalença i l'impacte significatiu que exerceixen sobre la qualitat de vida de les persones. Aquest interès per la salut digestiva ha impulsat nombroses recerques orientades a comprendre les causes subjacents dels desequilibris en la microbiota intestinal, entre les quals destaca el sobrecreixement bacterià de l'intestí prim (SIBO, de l'anglès *small intestinal bacterial overgrowth*).

1.1. Definició de SIBO

La microbiota és el conjunt de microorganismes, com bacteris, fongs, arqueus, virus i paràsits, que habiten en el cos humà i exerceixen un paper crucial per al correcte funcionament de l'organisme. El seu desequilibri, denominat *disbiosi*, pot provocar alteracions funcionals i afectar la salut de l'individu (Matijašić *et al.*, 2020). Un origen que desencadena la disbiosi és el SIBO, una condició caracteritzada per una proliferació excessiva o anormal de bacteris, que pot arribar a concentracions iguals o superiors a 10^5 UFC/ml en cultius d'aspiració jejunal proximal (Campo-Moreno *et al.*, 2018; Sroka *et al.*, 2022; Redondo-Cuevas *et al.*, 2024).

Els pacients amb SIBO presenten fermentacions microbianes dels carbohidrats consumits i no absorbits, la qual cosa produeix l'alliberament de gasos, la predominança dels quals depèn de la població microbiana present. Això permet classificar el SIBO en diferents tipus segons el gas predominant: hidrogen dominant (H+), metà dominant (M+), una combinació de tots dos gasos (H+/M+), i el tipus associat a la producció d'hidrogen-sulfur (S+), que és el menys estudiat (Skrzydło-Radomańska i Cukrowska, 2022; Wielgosz-Grochowska *et al.*, 2023).

No obstant això, és important assenyalar que el terme *SIBO metà dominant* (M+) no és completament correcte, ja que els microorganismes responsables de la producció de metà no són bacteris, sinó arqueus. Per això, la denominació més adequada és *sobrecreixement metanogen intestinal* (IMO, de l'anglès *intestinal methanogen overgrowth*) (Banaszak *et al.*, 2023).

El SIBO és causat per diferents microorganismes que varien en funció del tipus de SIBO. Els bacteris productors d'hidrogen (H+) majoritàriament pertanyen a la família de les enterobacteriàcies i estan relacionats amb la diarrea. En canvi, el SIBO-M+, o IMO, és causat principalment per arqueus metanogènics, com *Methanobrevibacter smithi*, *Methanosphaera stadtmanae* i *Methanomassilicoccus luminyensis*, associats al restrenyiment. En canvi, el SIBO-H+/M+ destaca per la coexistència de bacteris productors de tots dos gasos (Wielgosz-Grochowska *et al.*, 2023 i 2024), i el S+, per bacteris reductors de sulfat molt versàtils (Maeda i Murakami, 2023).

El SIBO pot presentar-se de múltiples formes, des de casos asimptomàtics fins a àmplies manifestacions clíniques. Entre els símptomes més comuns predominen la inflor, dolor i distensió abdominals, flatulència i hàbits intestinals alterats, com diarrea i restrenyiment. Aquestes alteracions poden conduir a una deficient absorció de nutrients essencials, la qual cosa pot afavorir una pèrdua de pes, desnutrició i anèmia. A més, els microorganismes presents competeixen amb l'hoste per nutrients, la qual cosa intensifica les deficiències nutricionals (Bures, 2010; Hersko, 2024).

«El SIBO, una condició caracteritzada per una proliferació excessiva o anormal de bacteris.»

1.2. Factors que influeixen en el desenvolupament del SIBO i epidemiologia

El desenvolupament del SIBO és d'origen multifactorial i pot estar influenciat per diversos factors que alteren l'estructura i funció de l'intestí prim (taula 1). Entre les causes més freqüents s'inclou l'alteració de la **barrera intestinal**, la funció de la qual és separar el còlon de l'intestí prim, i la seva disrupció facilita el reflux del contingut colònic cap a l'intestí prim, cosa que afavoreix el sobrecreixement bacterià. Un altre factor rellevant són les **alteracions en la motilitat intestinal**, especialment en el complex motor migratori (CMM), responsable de l'eliminació de deixalles presents en l'intestí. La seva disfunció provoca l'acumulació del contingut intestinal, la qual cosa afavoreix el creixement bacterià (Min *et al.*, 2024). Per tant, existeixen diverses **condicions mèdiques subjacents** i **afectacions sistèmiques** associades al desenvolupament del SIBO (Rao i Bhagatwala, 2019; Redondo-Cuevas *et al.*, 2024).

La prevalença exacta de SIBO es desconeix, encara que la majoria dels estudis estimen taxes que oscil·len entre el 0 % i el 22 % en persones clínicament sanes, augmentant amb l'edat, en dones i en pacients amb comorbiditats (Grace *et al.*, 2013; Krajicek i Hansel, 2016; Chen *et al.*, 2018). Aquesta variabilitat pot ser deguda a la falta de diagnòstic en els que no busquen atenció mèdica, a la presentació de símptomes inespecífics que s'atribueixen inadequadament a altres malalties, i a l'heterogeneïtat tant dels pacients com dels mètodes de diagnòstic emprats (Skrzydło-Radomańska i Cukrowska, 2022).

2. DIAGNÒSTIC

El diagnòstic de SIBO pot resultar complicat a causa dels seus símptomes poc específics i que solen coincidir amb els d'altres condicions, com els de la síndrome de l'intestí irritable (SII). El diagnòstic pot realitzar-se de diverses maneres, com amb les proves d'alè (BT), anàlisi de sang, aspiració i proximal, anàlisi de femta i diagnòstic per imatges (Hersko, 2024).

La prova d'alè (BT) amb glucosa (GBT) o lactulosa (LBT) és el mètode més utilitzat a causa de la seva senzilla, del baix cost i del caràcter no invasiu. Consisteix a mesurar els nivells inicials de gasos, com hidrogen (H₂) i metà (CH₄), presents en l'aire exhalat (línia de base), seguit de la ingesta d'una solució de glucosa o lactulosa, i repetir el mesurament de gasos. Posteriorment els resultats es comparen amb la línia de base: un augment de 10-12 ppm (GBT) o >20 ppm (LBT) de H₂ indica SIBO H+, >10 ppm (LBT) de CH₄ indica SIBO M+ o IMO, i l'augment de tots dos gasos indica H+/M+ (Dukowicz *et al.*, 2007; Tansel i Levinthal, 2023). Tot i que aquest mètode és àmpliament utilitzat, no té especificitat i pot generar falsos positius o negatius.

D'altra banda, l'aspiració i l'aspiració proximal són un altre mètode comú per al diagnòstic del SIBO. A diferència de l'anterior, és un mètode invasiu, ja que es requereix una endoscòpia per obtenir el líquid intestinal. Aquesta mostra es cultiva i se'n determina la concentració microbiana; esdevé positiva quan la concentració del cultiu és >10³ UFC/ml segons Hersko, 2024, o >10⁵ UFC/ml segons Ghoshal *et al.* (2014). Aquestes diferències es deuen a la probabilitat d'obtenir falsos positius o negatius per la possible contaminació durant el procés de presa de mostra (Li *et al.*, 2021).

Taula 1. Factors de risc que influeixen en el desenvolupament del SIBO

FACTORS QUE CONTRIBUEIXEN AL SIBO	REFERÈNCIES
Malaltia celíaca	Tursi <i>et al.</i> [2003]
Malaltia de Parkinson	Barboza <i>et al.</i> [2015]
Cirrosi hepàtica	Zhang <i>et al.</i> [2016]
Baipàs gàstric o ús d'inhibidors de la bomba de protons	Su <i>et al.</i> [2018]; Novljan i Pintar [2022]
Obesitat	Novljan i Pintar [2022]
Diabetis	Feng i Li [2022]
Afectacions emocionals (per exemple, estrès, depressió)	Chojnacki <i>et al.</i> [2022]
Fibrosi quística	Green <i>et al.</i> [2024]
Malalties inflamatòries intestinals (per exemple, malaltia de Crohn, colitis ulcerosa, síndrome de l'intestí irritable [SII])	Knez <i>et al.</i> [2024]

Font: Elaboració pròpia.

A més, hi ha diverses anàlisis que serveixen com a suport per a la detecció del SIBO, entre les quals les anàlisis de sang, que, mitjançant un hemograma, permeten identificar deficiències nutricionals de vitamina B12, àcid fòlic, ferro, ferritina, entre d'altres, freqüentment relacionades amb la malabsorció característica del SIBO (Wielgosz-Grochowska *et al.*, 2024). A més, aquestes anàlisis poden detectar nivells elevats de proteïna C reactiva, indicadora de la presència d'inflamació intestinal. D'altra banda, les anàlisis de femta són útils per detectar afeccions gastrointestinals, com la malabsorció característica del SIBO, mitjançant l'avaluació d'absorció de greixos (Hersko, 2024). També permeten identificar alteracions intestinals a través de marcadors com la calprotectina, una proteïna relacionada amb el deteriorament de la integritat de la barrera intestinal (Polkowska-Pruszyńska *et al.*, 2020).

3. TRACTAMENTS

El tractament del SIBO no té una base completament estandarditzada o vàlida per a tots els casos, la qual cosa fa que la seva elecció depengui de cada cas individual. Per garantir un tractament correcte, és important identificar els factors predisposants que han contribuït al desenvolupament del SIBO i així adaptar l'estratègia terapèutica a les necessitats de cadascú (Souza *et al.*, 2022).

3.1. Antibiòtics

El tractament comú per al SIBO és l'ús d'antibiòtics orals, la funció principal dels quals és reduir el sobrecreixement de microorganismes a l'intestí prim i millorar els símptomes del pacient. No obstant això, l'elecció del tipus d'antibiòtic, les dosis òptimes i la durada del tractament actualment no estan completament definides a causa de la variabilitat de resposta dels pacients (Min *et al.*, 2024).

La rifaximina és un dels antibiòtics més utilitzats a causa de la seva alta eficàcia i baixa incidència d'efectes secundaris. Això es deu a la seva baixa absorció (<0,1 % per dosi oral), cosa que en limita l'acció principalment al tracte gastrointestinal i n'evita el pas al torrent sanguini i així es minimitza l'impacte sistèmic (Di Stefano *et al.*, 2000), i, al seu torn, redueix l'exposició a bacteris extraintestinals, cosa que redueix el risc de resistència bacteriana (Koo i DuPont, 2010). A més, la rifaximina té una eficàcia antibiòtica d'ampli espectre, sent activa contra bacteris grampositius i gramnegatius, incloent-hi els aerobis, i, especialment, els anaerobis,

com els pertanyents als gèneres *Bacterioides*, *Lactobacillus* i *Clostridium* (Lauritano *et al.*, 2005). D'altra banda, la neomicina també ha mostrat eficàcia en el tractament de SIBO, especialment en casos associats a la producció de metà (M+), promovent una millora de l'estrenyiment (Low *et al.*, 2010). No obstant això, l'acció d'ambdós antibiòtics no és completament específica, cosa que pot afectar els microorganismes que mantenen l'equilibri d'una microbiota sana i regular (Min *et al.*, 2024).

Existeixen altres antibiòtics, com ciprofloxacina, metronidazole, tetraciclina i doxiciclina, que es consideren de segona elecció a causa de la seva absorció sistèmica, que incrementa la probabilitat de desenvolupar resistència bacteriana (Guardiola-Arévalo *et al.*, 2025).

3.2. Probiòtics

La suplementació probiòtica ha estat avaluada en diferents estudis com a estratègia per alleujar els símptomes del SIBO (Khalighi *et al.*, 2014; Ouyang *et al.*, 2024). Els probiòtics són microorganismes vius beneficiosos per a la salut (Corrales Benedetti i Arias Palacios, 2020). La seva funció principal és la reparació de la microbiota intestinal, millorant la barrera epitelial i controlant el creixement bacterià mitjançant la competència per nutrients i llocs d'adhesió en les mucoses (Halloran i Underwood, 2019).

Entre els probiòtics d'interès es troben: *Saccharomyces boulardii* (efecte antagònic contra *Helicobacter pylori*), *Clostridioides difficile*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecium* i *faecalis* (produeixen àcids grassos de cadena curta), *Bifidobacterium infantis* i *Lactobacillus acidophilus*. Aquests dos últims destaquen per la producció d'àcids orgànics, com l'àcid làctic, que estimula la producció de lisozima, un enzim antimicrobià que degrada la paret de bacteris grampositius i controla el sobrecreixement bacterià (Alakomi *et al.*, 2000).

Tot i que la suplementació probiòtica es creu que permet reduir els símptomes gastrointestinals, encara hi ha pocs estudis sobre el seu ús i que donin suport a la seva eficàcia. De fet, alguns estudis conclouen que no impedeixen el desenvolupament de SIBO (Hegar *et al.*, 2013; Ouyang *et al.*, 2024). Això podria deure's al fet que els probiòtics actuen principalment sobre els bacteris, mentre que el SIBO també es caracteritza pel creixement d'arqueus metanogènics, els quals no pertanyen al regne dels bacteris, per la qual cosa no responen a l'acció dels probiòtics.

Taula 2. Aliments amb alt contingut de FODMAP per component

FODMAP	ALIMENTS
Monosacàrid (fructosa)	Fruïtes: pomes, cireres, figues, mangos, peres, síndria
	Verdures: carxofes, espàrrecs, tomàquets secs
	Edulcorants: mel, xarop de blat de moro d'alta fructosa, nèctar d'atzavara
	Alcohol: xerès, porto, vins dolços de rom
Poliols (manitol, sorbitol, xilitol, isomalt)	Fruïtes: nectarines, préssecs, peres, mores, cireres, prunes, panses, síndria, litxis, pomes
	Verdures: coliflor, apis, pèsols, moniatos
	Altres: xampinyons, edulcorants artificials, xocolates
Fructans, oligosacàrids i galactooligosacàrids (GOS)	Llegums: fesols, soja
	Fruits secs: festucs, anacards, nous, ametlles (>10)
	Verdures: cebes, alls, carxofes, porros
	Productes amb blat, sègol i ordi
	Fruïtes: síndria, prunes, préssecs, figues, dàtils, plàtan
	Altres: tes (wulong, pomera i fonoll), inulina, garrofa
Disacàrids (lactosa)	Formatges, llet i productes lactis

Font: Elaboració pròpia amb suport bibliogràfic de Barrett (2017) i Vakil (2018).

3.3. Dieta

La dieta exerceix un paper crucial en la microbiota intestinal, ja que influeix en la seva diversitat, estabilitat i composició (Leeming *et al.*, 2019). Dietes baixes en fibra i riques en oligo-, di- i monosacàrids i poliols poden afavorir la disbiosi i el SIBO, ja que aquests carbohidrats de cadena curta, osmòticament actius i fàcilment fermentables, incrementen l'aigua intestinal i són metabolitzats pels bacteris de l'intestí prim (Hill *et al.*, 2017).

La fermentació d'aquests compostos produeix subproductes metabòlics com gasos (per exemple, hidrogen, metà, etc.) i àcids grassos de cadena curta (Hersko, 2024), els excessos dels quals a l'intestí poden causar, respectivament, distensió abdominal, en augmentar la pressió intestinal, i acidificació de l'ambient, amb la qual cosa es danyen les cèl·lules epitelials (Quera *et al.*, 2005). Aquests efectes comprometen la integritat de la capa epitelial que recobreix les vellositats intestinals, alteren la funció de les disacaridases i provoquen símptomes com ara fatiga, diarrea o malabsorció (Wielgosz-Grochowska *et al.*, 2024).

Per tractar aquests símptomes, s'està investigant la dieta baixa en FODMAP (oligo-, di- i monosacàrids i poliols) (Redondo-Cuevas *et al.*, 2024), basada en la restricció significativa d'aliments rics en compostos fermentables (taula 2). Tanmateix, comporta l'eliminació de molts aliments imprescindibles, la qual cosa augmenta la probabilitat de deficiències nutricionals i

desnutricions. Per aquesta raó, la restricció ha de ser temporal, seguida d'una reintroducció gradual dels aliments retirats. Això permet identificar quins aliments desencadenen els diferents símptomes i fer una dieta personalitzada i adaptada segons les necessitats de cada cas (Hersko, 2024).

Malgrat l'interès actual en les dietes com a estratègia terapèutica, existeixen pocs estudis sobre la seva aplicabilitat clínica, i l'evidència sobre la seva eficàcia és limitada. No està clar si la millora dels símptomes es relaciona amb una modificació en la microbiota intestinal o, simplement, si es deu a una disminució de fermentacions i la consegüent reducció en la quantitat de gasos produïts (Souza *et al.*, 2022).

4. METODOLOGIA

Per a l'elaboració d'aquesta revisió s'ha dut a terme una recerca en diverses bases de dades com PubMed, Scopus, Google Scholar, Science Direct i Scielo, utilitzant paraules clau i combinacions de termes relacionats amb el SIBO, com: *SIBO*, *small intestinal bacterial overgrowth*, *FODMAP SIBO*, *SIBO probiotics*, *SIBO antibiotics*, *rifaximina SIBO* i *SIBO diet*.

En aquesta revisió bibliogràfica s'ha donat prioritat als articles més recents. No obstant això, també s'hi han incorporat estudis previs la rellevància i les aportacions

significatives dels quals resulten fonamentals per al desenvolupament del tema.

Els criteris d'inclusió per a la selecció d'articles són els següents: havien de ser estudis clínics en humans amb diagnòstic de SIBO basat en proves reconegudes, accés a tot el document i escrits en llengua anglesa o castellana. A més, es van establir una sèrie de criteris d'exclusió, amb l'objectiu d'investigar articles de qualitat i idonis per a l'estudi. Aquests criteris d'exclusió van ser:

- **Estudis amb mostres molt petites ($n < 20$):** presenten menor validesa estadística i poden no ser representatius de la població.
- **Investigacions sense un diagnòstic estandarditzat de SIBO:** aquells estudis que no especifiquin el mètode de diagnòstic poden produir biaixos.
- **Avaluació del SIBO en animals:** els resultats obtinguts en animals no sempre poden extrapolar-se a humans a causa de les diferències entre ambdues espècies.

4.1. Bibliometria

La bibliometria ens permet analitzar l'abast, el creixement i la distribució de les publicacions científiques sobre el SIBO. Utilitza mètodes estadístics que ens permeten avaluar l'interès que genera el tema i l'evolució del seu estudi (GDLC, 2024).

Com s'observa en la figura 1, la investigació del SIBO és un camp relativament recent i en estat d'evolució. No va ser fins aproximadament el 2005 que se'n va començar a

intensificar la investigació, cosa que va donar lloc a un creixement exponencial d'estudis. Aquesta tendència reflecteix el creixent interès d'investigacions en l'estudi de la microbiota intestinal i el seu impacte en la salut. A més, el 2020 s'observa un pic, possiblement relacionat amb la covid-19, atès que nombrosos pacients van començar a presentar símptomes intestinals. Això va impulsar la investigació del SIBO com a possible conseqüència de la covid-19 i el desenvolupament de nous tractaments (Fajloun *et al.*, 2023).

A la taula 3 es pot observar de manera resumida els anys i els països de publicació dels estudis analitzats als apartats 4 i 5.

Taula 3. Articles analitzats, any i país de publicació

ANY	PAÍS	REFERÈNCIA
2005	Itàlia	Lauritano <i>et al.</i> (2005)
2010	Estats Units	Low <i>et al.</i> (2010)
2014	Índia	Khalighi <i>et al.</i> (2014)
2024	Mèxic	Muhlenbrock <i>et al.</i> (2024)
	Xina	Ouyang <i>et al.</i> (2024)
	Itàlia	Redondo-Cuevas <i>et al.</i> (2024)

Font: Elaboració pròpia.

«La bibliometria ens permet analitzar l'abast, el creixement i la distribució de les publicacions científiques sobre el SIBO.»

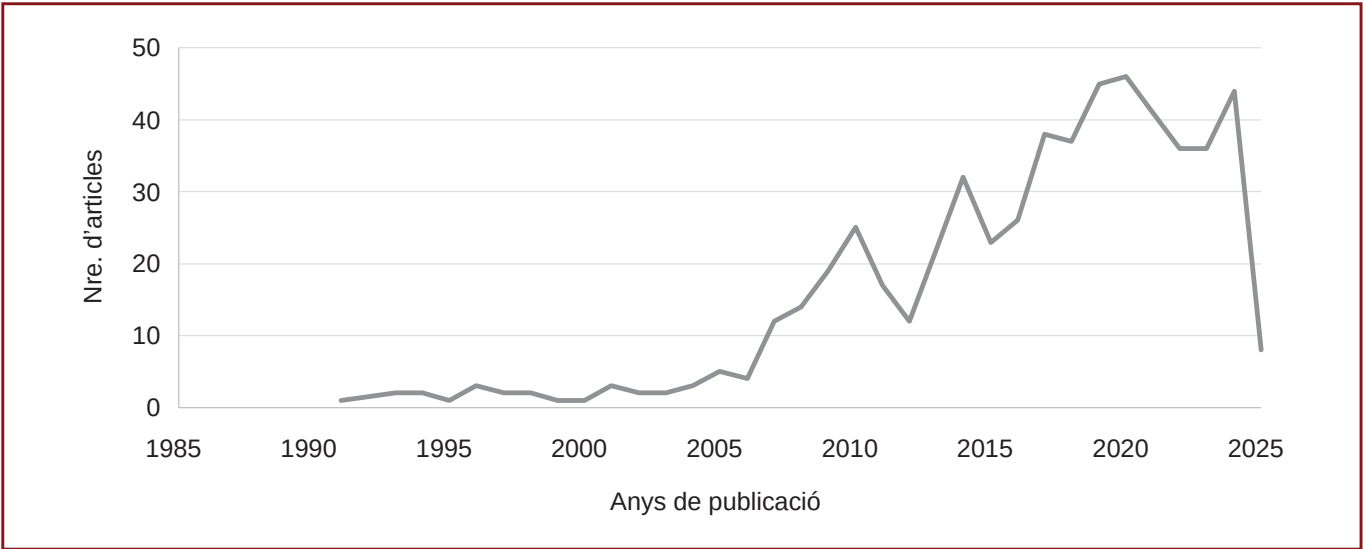


Figura 1. Distribució temporal del nombre d'articles científics publicats relacionats amb el SIBO.
Font: Elaboració pròpia.

Taula 4. Anàlisi de les característiques dels estudis analitzats

REFERÈNCIA	MIDA MOSTRAL	SEXE	MÈTODE DE DIAGNÒSTIC	SUBTIPUS	SÍMPTOMES
Lauritano <i>et al.</i> (2005)	n = 30	73,3 % M 26,7 % F	GBT	H +	Inflor, malestar abdominal i diarrea
	n = 30	70 % M 30 % F			
	n = 30	23,3 % M 76,7 % F			
Low <i>et al.</i> (2010)	n = 8	12,5 % M 87,5 % F	LBT	H + - M +	Estrenyiment
	n = 39	33,3 % M 66,7 % F			
	n = 27	33,3 % M 66,7 % F			
Khalighi <i>et al.</i> (2014)	n = 30	50 % M 50 % F	Prova d'alè H ₂ (HBT) (no especifica prova)	H +	Nàusees, flatulència, eructes, vòmits, estrenyiment i sensació de pèrdua de gana
Ouyang <i>et al.</i> (2024)	n = 32	100 % F	LBT	H+ - M+ - H+/M+	Estrenyiment, indigestió, diarrea, dolor abdominal
Redondo-Cuevas <i>et al.</i> (2024)	IG: n = 120	17,3 % M 82,7 % F	LBT	H + - M +	No s'esmenten
	CG: n = 59				
Muhlenbrock <i>et al.</i> (2024)	n = 27	7,4 % M 92,3 % F	LBT	H + - M +	Dolor, inflamació abdominal, malabsorció
	n = 28	100 % F			
	n = 34	12,5 % M 87,5 % F			

M: masculí; F: femení; IG: grup d'intervenció; CG: grup control; GBT: prova d'alè amb glucosa; LBT: prova d'alè amb lactulosa; H +: SIBO hidrogen dominant; M +: SIBO metà dominant; M +/H+: SIBO en què predominen ambdós gasos.
Font: Elaboració pròpia.

5. CARACTERITZACIÓ DE CASOS

En relació amb les característiques dels estudis analitzats, com s’observa a la taula 4, tots inclouen una mida mostral, el sexe dels pacients, el mètode de diagnòstic, els subtipus de SIBO i els símptomes que manifesten els pacients (excepte l’estudi de Redondo-Cuevas *et al.* (2024), que no presenta els símptomes).

Pel que fa a la mida mostral general dels estudis, tots es troben en un valor superior a 20, amb mostres que oscil·len entre els 30 i els 179 pacients. Així mateix, en la majoria dels estudis predomina el sexe femení respecte al masculí.

Quant als mètodes de diagnòstic, en tots s’empren proves d’alè, destacant la prova de lactulosa (LBT). En tots els casos, els pacients analitzats presenten SIBO positiu, tot i que els subtipus varien entre hidrogen positiu (H+), metà positiu (M+) i una combinació de tots dos (H+/M+). En canvi, es presenta una àmplia varietat de manifestacions clíniques, en què destaquen l’estrenyiment i el dolor abdominal.

6. ESTRATÈGIES TERAPÈUTIQUES

En tots els estudis, com s’observa a la taula 6, s’han analitzat l’estratègia i el tipus de tractament, incloent-hi l’ús d’antibiòtics, probiòtics, prebiòtics, complements herbals i modificacions dietètiques. A més, també s’ha analitzat el període de tractament emprat, el seu impacte clínic, i se n’han extret unes conclusions.

En relació amb els **antibiòtics**, com mostra la taula 5, les dosis administrades van oscil·lar entre 400 mg / 12 h i 1.200 mg/dia, amb taxes de normalització que varien entre el 16,7 % i el 85 %, depenent del tipus, la dosi administrada i la combinació d’antibiòtics. La rifaximina és l’antibiòtic més estudiat i el que mostra una major eficàcia (fins a un 61 %) quan s’administren dosis més altes (1.200 mg/dia).

D’altra banda, els probiòtics emprats inclouen probiòtics quàdruples, Lactol i *Saccharomyces boulardii*. En l’estudi d’Ouyang *et al.* (2024) es combinen amb prebiòtics, tot i que la seva eficàcia resulta ser limitada (28,13 %). En canvi, en l’estudi de Khalighi *et al.* (2014) s’empren al costat d’antibiòtics i la seva combinació va fer que les taxes de normalització s’incrementessin significativament fins a un 93,3 %.

Taula 5. Antibiotics per al tractament de SIBO, dosis administrades i eficàcia

TIPUS D'ANTIBIÒTIC	DOSI	EFICÀCIA	REFERÈNCIES
Rifaximina	400 mg / 12 h	56-59 %	Lauritano <i>et al.</i> (2005); Low <i>et al.</i> (2010); Muhlenbrock <i>et al.</i> (2024)
	600 mg/dia	16,7 %	
	800 mg/dia	26,7 %	
	1.200 mg/dia	58-61 %	
Ciprofloxacina	500 mg / 12 h	54 %	Muhlenbrock <i>et al.</i> (2024)
Metronidazole	500 mg / 8 h	79 %	
Neomicina	500 mg / 12 h	63 %	Low <i>et al.</i> (2010)
Neomicina + rifaximina	500 mg / 12 h 400 mg / 12 h	85 %	

Font: Elaboració pròpia.

Taula 6. Comparativa de tractaments per a SIBO: estratègies, períodes i resultats clínics

REFERÈNCIA	ESTRATÈGIA	TIPUS	PERÍODE	IMPACTE CLÍNIC (NORMALITZACIÓ)	CONCLUSIONS
Lauritano <i>et al.</i> , (2005)	Antibiòtics	Rifaximina 600 mg/dia	7 dies	16,70 %	Els resultats indiquen que dosis més elevades de rifaximina (1.200 mg/dia) presenten una major eficàcia per erradicar SIBO en comparació amb dosis inferiors (600 mg/dia i 800 mg/dia).
		Rifaximina 800 mg/dia		26,70 %	
		Rifaximina 1.200 mg/dia		60 %	
Low <i>et al.</i> , (2010)	Antibiòtics	Neomicina 500 mg / 12 h	10 dies	63 % (33 % M+)	La combinació de neomicina i rifaximina per als pacients amb SIBO M+ va resultar ser més efectiva que els antibiòtics per separat.
		Rifaximina 400 mg / 12 h		56 % (28 % M+)	
		Neomicina 500 mg / 12 h + rifaximina 400 mg / 8 h		85 % (87 % M+)	
Khalighi <i>et al.</i> , (2014)	Antibiòtics	Ti: antibiòtic d'ampli espectre Tm: antibiòtics amb minociclina 100 mg BID - 15 dies/mes	Ti: 3 setmanes Tm: 6 mesos	66,70 %	En finalitzar el tractament, el 93,3 % dels pacients que van rebre probiòtics al costat d'antibiòtics van presentar una normalització de gasos, en comparació amb el 66,7 % en el grup que només va rebre antibiòtics. A més, el grup al qual es va subministrar Lactol va presentar millores significatives en els símptomes, la qual cosa suggereix que els antibiòtics combinats amb probiòtics milloren l'eficàcia del tractament.
	Antibiòtics + probiòtics	Ti: antibiòtic d'ampli espectre Tm: antibiòtics amb minociclina 100 mg BID - 15 dies/mes Probiòtic Lactol: <i>Bacillus coagulans</i> i fructooligosacàrids BID - 15 dies restants / mes		93,30 %	
Ouyang <i>et al.</i> , (2024)	Probiòtics + prebiòtics	Probiòtics quàdruples (<i>Bifidobacterium infantis</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> i <i>Bacillus cereus</i>): 1,5 g TID Pols de fibra de polisacàrid en pols: 5 g TID	21 dies	28,13 %	La reducció del SIBO amb aquest tractament aïllat no va resultar significativa (28,13 %). Això podria ser degut a la necessitat de combinar-los al costat d'altres tractaments.

Taula 6. Comparativa de tractaments per a SIBO: estratègies, períodes i resultats clínics (Continuació)

REFERÈNCIA	ESTRATÈGIA	TIPUS	PERÍODE	IMPACTE CLÍNIC (NORMALITZACIÓ)	CONCLUSIONS
Redondo-Cuevas <i>et al.</i> , (2024)	Fase 1 (neteja): antibiòtics + base d'herbes/ probiòtics	H+: rifaximina 200 mg/dia (10 dies) + oleoclaps 2 i berberina/donzell (20 dies) M+: rifaximina 200 mg/dia + neomicina 500 mg/dia + probiòtic (<i>Saccharomyces boulardii</i> , 250 mg/dia) (10 dies) + oleoclaps 2 i donzell	1 mes	Millora clínica: IG: 76,7 % CG: 64,4 % Reducció de gasos: IG: 42,5 % CG: 39 %	La diferència en la reducció de gasos entre tots dos grups no va ser significativa (IG: 42,5 %; CG: 39 %), la qual cosa indica que els probiòtics i complements herbals no van destacar per la capacitat de reducció de casos de SIBO. En canvi, sí que van produir una millora clínica dels pacients, especialment en els casos M+ (57,5 %). Això podria deure's a la combinació d'antibiòtics (rifaximina i neomicina) utilitzada en el grup M+. A més, la dieta baixa en FODMAP implementada en tots dos grups probablement va contribuir a la millora clínica dels pacients.
	Modificació dietètica	Dieta baixa en FODMAP (restricció)			
	Fase 2 (recuperació mucosa): probiòtics + prebiòtics	H+: Probinflam i L-glutamina 5 g BID + goma de guar 5 g/dia (prebiòtic) M+: Probinflam i L-glutamina 5 g BID	6 setmanes		
	Modificació dietètica	Reintroducció aliments FODMAP	2 mesos		
	GC: Antibiòtics + modificació dietètica	H+: rifaximina 200 mg/dia M+: rifaximina 200 mg/dia + neomicina 500 mg/dia Dieta FODMAP (igual que grup IG)	3 mesos		
Muhlenbrock <i>et al.</i> , (2024)	Antibiòtics	Rifaximina 400 mg / 12 h	10 dies	59 %	Els tres tractaments van disminuir la producció de H ₂ , però tan sols van reduir els nivells de CH ₄ . Destaca el metronidazole amb un major percentatge d'eficàcia. Això podria atribuir-se a les diferències de l'absorció en els teixits.
		Ciprofloxacina 500 mg / 12 h		54 %	
		Metronidazole 500 mg / 8 h		79 %	

Nota: BID: dues vegades al dia; TID: tres vegades al dia; IG: grup d'intervenció; CG: grup control; Ti: tractament inicial; Tm: tractament de manteniment; H +: SIBO hidrogen dominant; M +: SIBO metà dominant; M +/H+: SIBO en què predominen ambdós gasos.
Font: Elaboració pròpia.

Les dietes baixes en FODMAP entre els estudis presents només s'implementen en el de Redondo-Cuevas *et al.* (2024), combinades amb altres tractaments, la qual cosa reflecteix la poca disponibilitat de dades sobre l'eficàcia de les dietes per tractar el SIBO.

7. CONCLUSIONS

Malgrat els avenços en la investigació, el SIBO continua sent una condició difícil de tractar, ja que tant els seus diagnòstics com els tractaments presenten limitacions. Per tractar eficaçment aquesta condició i alleujar-ne els símptomes, és fonamental un **diagnòstic** cor-

recte. Determinar el tipus de SIBO serà clau per aplicar el tractament més idoni segons els microorganismes predominants a l'intestí. Actualment, la prova d'alè amb glucosa o lactulosa és el mètode més utilitzat; tot i així, la seva fiabilitat és limitada, per la qual cosa complementar-la amb anàlisi de sang o de femta pot millorar la precisió dels resultats. Seguidament, el **tractament** que s'implementi s'ha d'adaptar a cada pacient, tot i que en tots els casos la base són els **antibiòtics**. A SIBO M+, la combinació de neomicina i rifaximina és efectiva, ja que permet actuar tant sobre els arqueus metanogènics com els bacteris, mentre que a SIBO H+ la rifaximina de manera individual és suficient. A més, si es vol obtenir una major resolució clínica del pacient, el

tractament no s'ha de limitar als antibiòtics, ja que la **combinació** amb diferents estratègies, com els **probiòtics i prebiòtics**, s'ha vist que és eficaç per a l'alleviament dels símptomes. També l'alimentació és fonamental per a la bona evolució, per la qual cosa una **dieta baixa en FODMAP** adaptada a cada pacient pot ser clau per optimitzar els resultats.

Per tant, la gestió del SIBO ha de ser multidisciplinària i adaptada a cada pacient, combinant diferents mètodes de diagnòstic i estratègies terapèutiques per aconseguir una resolució més efectiva.

REFERÈNCIES

- ALAKOMI, H.-L.; SKYTÄ, E.; SAARELA, M.; MATTILA-SANDHOLM, T.; LATVALA, K.; HELANDER, I. M. (2000). «Lactic acid permeabilizes gram-negative bacteria by disrupting the outer membrane». *Applied and Environmental Microbiology* [en línia], 66 (5), p. 2001-2005. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.5.2001-2005.2000>.
- BANASZAK, M.; GÓRNA, I.; WOŹNIAK, D.; PRZYSLAWSKI, J.; DRZYMAŁA-CZYŻ, S. (2023). «Association between gut dysbiosis and the occurrence of SIBO, LİBO, SİFO and İMO». *Microorganisms* [en línia], 11 (3), p. 573. <https://doi.org/10.3390/microorganisms1103057>.
- BARBOZA, J. L.; OKUN, M. S.; MOSHIRE, B. (2015). «The treatment of gastroparesis, constipation and small intestinal bacterial overgrowth syndrome in patients with Parkinson's disease». *Expert Opinion on Pharmacotherapy* [en línia], 16 (16), p. 2449-2464. <https://doi.org/10.1517/14656566.2015.1086747>.
- BARRETT, J. S. (2017). «How to institute the low-FODMAP diet». *Journal of Gastroenterology and Hepatology* [en línia], 32 (S1), p. 8-10. <https://doi.org/10.1111/jgh.13686>.
- BURES, J. (2010). «Small intestinal bacterial overgrowth syndrome». *World Journal of Gastroenterology* [en línia], 16 (24), 2978-2990. <https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i24.2978>.
- CAMPO-MORENO, R. del; ALARCÓN-CAVERO, T.; D'AURIA, G.; DELGADO-PALACIO, S.; FERRER-MARTÍNEZ, M. (2018). «Microbiota en la salud humana: técnicas de caracterización y transferencia». *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* [en línia], 36 (4), p. 241-245. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2017.02.007>.
- CHEN, B.; KIM, J. J.-W.; ZHANG, Y.; DU, L.; DAI, N. (2018). «Prevalence and predictors of small intestinal bacterial overgrowth in irritable bowel syndrome: A systematic review and metaanalysis». *Journal of Gastroenterology* [en línia], 53 (7), p. 807-818. <https://doi.org/10.1007/s00535018-1476-9>.
- CHOJNACKI, C.; KONRAD, P.; BŁOŃSKA, A.; MEDREK-SOCHA, M.; PRZYBYŁOWSKA-SYGUT, K.; CHOJNACKI, J.; POPLAWSKI, T. (2022). «Altered tryptophan metabolism on the kynurenine pathway in depressive patients with small intestinal bacterial overgrowth». *Nutrients* [en línia], 14 (15), 3217. <https://doi.org/10.3390/nu14153217>.
- CORRALES BENEDETTI, D.; ARIAS PALACIOS, J. (2020). «Los probióticos y su uso en el tratamiento de enfermedades». *Revista de Ciencias Biomédicas* [en línia], 9 (1), p. 54-66. <https://doi.org/10.32997/rcb2020-3043>.
- DI STEFANO M.; MALSERSVI S.; VENETO G.; FERRIERI A.; CORAZZA, G. R. (2000). «Rifaximin versus chlortetracycline in the short-term treatment of small intestinal bacterial overgrowth». *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* [en línia], 14 (5), p. 551-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2036.2000.00751.x>.
- DUKOWICZ, A. C.; LACY, B. E.; LEVINE, G. M. (2007). «Small intestinal bacterial overgrowth: A comprehensive review». *Gastroenterology & Hepatology* [en línia], 3 (2), p. 112-122. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3099351/> [Consulta: 5 desembre 2024].
- EFREMOVA, I.; MASLENNIKOV, R.; ZHARKOVA, M.; POLUEKTOVA, E.; BENUNI, N.; KOTUSOV, A.; DEMINA, T.; IVLEVA, A.; ADZHIEVA, F.; KRYLOVA, T.; IVASHKIN, V. (2024). «Efficacy and safety of a probiotic containing *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 in the treatment of small intestinal bacterial overgrowth in decompensated cirrhosis: Randomized, placebo-controlled study». *Journal of Clinical Medicine* [en línia], 13 (3), 919. <https://doi.org/10.3390/jcm13030919>.
- FAJLOUN, Z.; ABI KHATTAR, Z.; KOVACIC, H.; LEGROS, C.; SABATIER, J.-M. (2023). «SİBO: The trail of a "new" human pathology associated with multiple severe and disabling COVID-19 and long COVID symptoms or induced by the anti-COVID-19 vaccine». *Infectious Disorders - Drug Targets* [en línia], 23 (4). <https://doi.org/10.2174/1871526523666230210162334>.
- FENG, X.; LI, X.-Q. (2022). «The prevalence of small intestinal bacterial overgrowth in diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis». *Aging* [en línia], 14 (2), p. 975-988. <https://doi.org/10.18632/aging.203854>.
- GDL C = GRAN DICCIONARI DE LA LLENGUA CATALANA (2024). «Bibliometria». *Diccionari.cat* [en línia]. <https://www.diccionari.cat/GDL C/bibliometria> [Consulta: 31 octubre 2024].
- GHOSHAL, U. C.; SRIVASTAVA, D.; GHOSHAL, U.; MISRA, A. (2014). «Breath tests in the diagnosis of small intestinal bacterial overgrowth in patients with irritable bowel syndrome in comparison with quantitative upper gut aspirate culture». *European Journal of Gastroenterology & Hepatology* [en línia], 26 (7), p. 753-760. <https://doi.org/10.1097/MEG.000000000000122>.
- GRACE, E.; SHAW, C.; WHELAN, K.; ANDREYEV, H. J. N. (2013). «Review article: Small intestinal bacterial overgrowth - prevalence, clinical features, current and developing diagnostic tests, and treatment». *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* [en línia], 38 (7), p. 674-688. <https://doi.org/10.1111/apt.12456>.
- GREEN, N.; CHAN, C.; OOI, C. Y. (2024). «The gastrointestinal microbiome, small bowel bacterial overgrowth, and microbiome modulators in cystic fibrosis». *Pediatric Pulmonology* [en línia], 59 (S1). <https://doi.org/10.1002/ppul.26913>.
- GUARDIOLA-ARÉVALO, A.; MASCORT Roca, J.; NOGUEROL ÁLVAREZ, M.; CARRILLO MUÑOZ, R.; MENDIVE ARBELOA, J. M.; AMADOR ROMERO, J. (2025). «Sobrecrecimiento bacteriano intestinal: mitos y realidades». *Atención Primaria* [en línia], 57 (4), 103201. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2024.103201>.
- HALLORAN, K.; UNDERWOOD, M. A. (2019). «Probiotic mechanisms of action». *Early Human Development* [en línia], 135, p. 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.05.010>.
- HEGAR, B.; HUTAPEA, E. I.; ADVANI, N.; VANDENPLAS, Y. (2013). «A double-blind placebo-controlled randomized trial on probiotics in small bowel bacterial overgrowth in children treated with omeprazole». *Jornal de Pediatria* [en línia], 89 (4), p. 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2012.12.005>.
- HERSKO, E. C. (2024). «SİBO and the effectiveness of treatment via diet and medication». *The Science Journal of the Lander College of Arts and Sciences* [en línia], 17 (2), p. 37-42. <https://touro scholar.touro.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1357&context=sjlcas> [Consulta: 20 gener 2025].
- HILL, P.; MUIR, J. G.; GIBSON, P. R. (2017). «Controversies and recent developments of the low-FODMAP diet». *Gastroenterology & Hepatology* [en línia], 13 (1), p. 36-45. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5390324/> [Consulta: 27 gener 2025].
- KHALIGHI, A. R.; KHALIGHI, M. R.; BEHDANI, R.; JAMALI, J.; KHOSRAVI, A.; KOUHESTANI, SH.; RADMANESH, H.; ESMAEELZADEH, S.; KHALIGHI, N. (2014). «Evaluating the efficacy of probiotic on treatment in patients with small intestinal bacterial overgrowth (SİBO) - A pilot study». *Indian Journal of Medical Research* [en línia], 140 (5), p. 604-608. <https://journals.lww.com/ijmr/fulltext/2014/40050/Evaluating_the_efficacy_of_probiotic_on_treatment.5.aspx>.
- KNEZ, E.; KADAC-CZAPSKA, K.; GREMBECKA, M. (2024). «The importance of food quality, gut motility, and microbiome in SİBO development and treatment». *Nutrition* [en línia], 124, 112464. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2024.112464>.
- KOO, H. L.; DUPONT, H. L. (2010). «Rifaximin: A unique gastrointestinal-selective antibiotic for enteric diseases». *Current Opinion in Gastroenterology* [en línia], 26 (1), p. 17-25. <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e328333dc8d>.

- KRAJICEK, E. J.; HANSEL, S. L. (2016). «Small intestinal bacterial overgrowth». *Mayo Clinic Proceedings*, 91 (12), p. 1828-1833. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.07.025>.
- LAURITANO, E. C.; GABRIELLI, M.; LUPASCU, A.; SANTOLIVUO, A.; NUCERA, G.; SCARPELLINI, E.; VINCENTI, F.; CAMMAROTA, G.; FLORE, R.; POLA, P.; GASBARRINI, G.; GASBARRINI, A. (2005). «Rifaximin dose-finding study for the treatment of small intestinal bacterial overgrowth». *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* [en línea], 22 (1), p. 31-35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2005.02516.x>.
- LEEMING, E. R.; JOHNSON, A. J.; SPECTOR, T. D.; LE ROY, C. I. (2019). «Effect of diet on the gut microbiota: Rethinking intervention duration». *Nutrients* [en línea], 11 (12), 2862. <https://doi.org/10.3390/nu11122862>.
- LI, J.; ZHANG, R.; MA, J.; TANG, S.; LI, Y.; LI, Y.; WAN, J. (2021). «Mucosa-associated microbial profile is altered in small intestinal bacterial overgrowth». *Frontiers in Microbiology* [en línea], 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.710940>.
- LOW, K.; HWANG, L.; HUA, J.; ZHU, A.; MORALES, W.; PIMENTEL, M. (2010). «A combination of rifaximin and neomycin is most effective in treating irritable bowel syndrome patients with methane on lactulose breath test». *Journal of Clinical Gastroenterology* [en línea], 44 (8), p. 547-550. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e3181c64c90>.
- MAEDA, Y.; MURAKAMI, T. (2023). «Diagnosis by microbial culture, breath tests and urinary excretion tests, and treatments of small intestinal bacterial overgrowth». *Antibiotics*, 12 (2), 263. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020263>.
- MATJAJŠIĆ, M.; MEŠTROVIĆ, T.; ČIPČIĆ PALJETAK, H.; PERIĆ, M.; BAREŠIĆ, A.; VERBANAC, D. (2020). «Gut microbiota beyond bacteria-mycobiome, virome, archaeome, and eukaryotic parasites in IBD». *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], 21 (8), 2668. <https://doi.org/10.3390/ijms21082668>.
- MIN, M.; NADORA, D.; CHAKKALAKAL, M.; AFZAL, N.; SUBRAMANYAM, C.; GAHOONIA, N.; PAN, A.; THACKER, S.; NONG, Y.; CHAMBERS, C. J.; SIVAMANI, R. K. (2024). «An oral botanical supplement improves small intestinal bacterial overgrowth (SIBO) and facial redness: Results of an open-label clinical study». *Nutrients* [en línea], 16 (18), 3149. <https://doi.org/10.3390/nu16183149>.
- MUHLENBROCK, C. von; LANDSKRON, G.; MADRID, A. M. (2024). «Tratamiento de sobrecrecimiento bacteriano en el intestino delgado en pacientes chilenos con síndrome de intestino irritable: un estudio prospectivo y comparativo». *Revista de Gastroenterología de México* [en línea]. <https://doi.org/10.1016/j.rgm.2024.08.004>.
- NOVLJAN, U.; PINTAR, T. (2022). «Small intestinal bacterial overgrowth in patients with roux-en-Y gastric bypass and one-anastomosis gastric bypass». *Obesity Surgery* [en línea], 32 (12), p. 4102-4109. <https://doi.org/10.1007/s11695-022-06299-z>.
- OUYANG, Q.; XU, Y.; BAN, Y.; LI, J.; CAI, Y.; WU, B.; HAO, Y.; SUN, Z.; ZHANG, M.; WANG, M.; WANG, W.; ZHAO, Y. (2024). «Probiotics and prebiotics in subclinical hypothyroidism of pregnancy with small intestinal bacterial overgrowth». *Probiotics and Antimicrobial Proteins* [en línea], 16 (2), p. 579-588. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10068-4>.
- POLKOWSKA-PRUSZYŃSKA, B.; GERKOWICZ, A.; KRASOWSKA, D. (2020). «The gut microbiome alterations in allergic and inflammatory skin diseases – an update». *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology* [en línea], 34 (3), p. 455-464. <https://doi.org/10.1111/jdv.15951>.
- QUERA, P. R.; QUIGLEY, E. M.; MADRID, S. A. M. (2005). «Sobrecrecimiento bacteriano intestinal: An update». *Revista Médica de Chile* [en línea], 133 (11). <https://doi.org/10.4067/S003498872005001100013>.
- RAO, S. S. C.; BHAGATWALA, J. (2019). «Small intestinal bacterial overgrowth: Clinical features and therapeutic management». *Clinical and Translational Gastroenterology* [en línea], 10 (10), e00078. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000078>.
- REDONDO-CUEVAS, L.; BELLOCH, L.; MARTÍN-CARBONELL, V.; NICOLÁS, A.; ALEXANDRA, I.; SANCHIS, L.; YNFANTE, M.; COLMENARES, M.; MORA, M.; LIEBANA, A. R.; ANTEQUERA, B.; GRAU, F.; MOLÉS, J. R.; CUESTA, R.; DÍAZ, S.; SANCHEZ, N.; TOMÁS, H.; GONZALVO, J.; JAÉN, M.; CORTÉS-RIZO, X. (2024). «Do herbal supplements and probiotics complement antibiotics and diet in the management of SIBO? A randomized clinical trial». *Nutrients* [en línea], 16 (7), 1083. <https://doi.org/10.3390/nu16071083>.
- SCARPELLINI, E.; GABRIELLI, M.; LAURITANO, C. E.; LUPASCU, A.; MERRA, G.; CAMMAROTA, G.; CAZZATO, I. A.; GASBARRINI, G.; GASBARRINI, A. (2007). «High dosage rifaximin for the treatment of small intestinal bacterial overgrowth». *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* [en línea], 25 (7), p. 781-786. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2007.03259.x>.
- SKRZYDŁO-RADOMIŃSKA, B.; CUKROWSKA, B. (2022). How to recognize and treat small intestinal bacterial overgrowth?». *Journal of Clinical Medicine* [en línea], 11 (20), 6017. <https://doi.org/10.3390/jcm11206017>.
- SOUZA, C.; ROCHA, R.; COTRIM, H. P. (2022). «Diet and intestinal bacterial overgrowth: Is there evidence?». *World Journal of Clinical Cases* [en línea], 10 (15), p. 4713-4716. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i15.4713>.
- SROKA, N.; RYDZEWSKA-ROSOŁOWSKA, A.; KAKAREKO, K.; ROŚOŁOWSKI, M.; GŁOWIŃSKA, I.; HRYSZKO, T. (2022). «Show me what you have inside - The complex interplay between SIBO and multiple medical conditions - A systematic review». *Nutrients* [en línea], 15 (1), 90. <https://doi.org/10.3390/nu15010090>.
- SU, T.; LAI, S.; LEE, A.; HE, X.; CHEN, S. (2018). «Meta-analysis: proton pump inhibitors moderately increase the risk of small intestinal bacterial overgrowth». *Journal of Gastroenterology* [en línea], 53 (1), p. 27-36. <https://doi.org/10.1007/s00535-017-1371-9>.
- SUÁREZ TERÁN, J.; GUARNER AGUILAR, F. (2024). «Sobrecrecimiento bacteriano del intestino delgado (SIBO), ¿una entidad clínica sobrediagnosticada?». *Gastroenterología y Hepatología* [en línea], 47 (9), 502190. <https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2024.502190>.
- TANSEL, A.; LEVINTHAL, D. J. (2023). «Understanding our tests: hydrogen-methane breath testing to diagnose small intestinal bacterial overgrowth». *Clinical and Translational Gastroenterology* [en línea], 14 (4), e00567. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000567>.
- TURSI, A.; BRANDIMARTE, G.; GIORGETTI, G. (2003). «High prevalence of small intestinal bacterial overgrowth in celiac patients with persistence of gastrointestinal symptoms after gluten withdrawal». *The American Journal of Gastroenterology* [en línea], 98 (4), p. 839-843. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2003.07379.x>.
- VAKIL, N. (2018). «Dietary fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides, and polyols (FODMAPs) and gastrointestinal disease». *Nutrition in Clinical Practice* [en línea], 33 (4), p. 468-475. <https://doi.org/10.1002/ncp.10108>.
- WIELGOSZ-GROCHOWSKA, J. P.; DOMANSKI, N.; DRYWIEŃ, M. E. (2023). «Influence of body composition and specific anthropometric parameters on SIBO type». *Nutrients* [en línea], 15 (18), 4035. <https://doi.org/10.3390/nu15184035>.
- (2024). «Identification of SIBO subtypes along with nutritional status and diet as key elements of SIBO therapy». *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], 25 (13), 7341. <https://doi.org/10.3390/ijms25137341>.
- ZHANG, Y.; FENG, Y.; CAO, B.; TIAN, Q. (2016). «The effect of small intestinal bacterial overgrowth on minimal hepatic encephalopathy in patients with cirrhosis». *Archives of Medical Science* [en línea], 3, p. 592-596. <https://doi.org/10.5114/aoms.2015.55675>.

Tenebrio molitor com a font de proteïna per a l'elaboració d'anàlegs carnis

Tenebrio molitor as a protein source for meat analogues development

ÀLVAR GRÀCIA



Doctor en ciència dels aliments per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Investigador sènior del Centre Tecnològic Leitat, en l'Àrea de Bio-recursos i Tecnologies Agroalimentàries. Professor associat de la UAB, Departament de Ciència Animal i dels Aliments.

IRINA ELENA CHIRIAC



Llicenciada en ciència i tecnologia dels aliments per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (ETSEA) de la Universitat de Lleida (UdL). Investigadora principal de l'Equip de Biorecursos i Tecnologies Agroalimentàries de Leitat.

CRISTINA FABREGAT



Llicenciada en biologia per la Universitat de Barcelona (UB). Investigadora principal de l'Equip de Biorecursos i Tecnologies Agroalimentàries de Leitat.

MONTSE JORBA



Doctora en enginyeria de projectes i sistemes per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Cap d'àrea de l'Equip de Biorecursos i Tecnologies Agroalimentàries de Leitat.

RESUM: L'article presenta els resultats del projecte GO DIIANA, una iniciativa per desenvolupar aliments innovadors basats en larves de *Tenebrio molitor* (TM), també anomenat *cuc de la farina*, com una alternativa sostenible a les fonts proteiques d'origen carni. El projecte, executat per Iberinsect, Zyrcular i Leitat, va processar la farina de TM produïda per Iberinsect mitjançant tècniques de deshidratació, desgreixament i hidròlisi proteica, amb l'objectiu d'obtenir nous ingredients amb propietats funcionals, sensorials i nutricionals millorades. Finalment, es va seleccionar una farina millorada de TM mitjançant un procés de deshidratació i desgreixament parcial per premsatge de les larves, seguit d'una deshidratació tèrmica, molta i tamisatge, que millorava les propietats tecnològiques i el perfil nutricional de la farina de TM (fins a un 65 % p/p de proteïna) i garantia un nivell suficient de producció per a l'elaboració dels nous productes alimentaris. Aquestes farines es van analitzar pel que fa a la composició (proximal, aminograma, macronutrients i micronutrients, perfil lipídic), microbiologia i metalls pesants, els dos últims per tal de garantir-ne la seguretat alimentària. Es van desenvolupar amb èxit anàlegs carnis (del tipus hamburgueses, salsitxes i delícies de po-

ABSTRACT: This article presents the results of the GO DIIANA project, an initiative aiming to develop innovative food products based on *Tenebrio molitor* (TM) larvae, also known as mealworms, as a sustainable alternative to conventional animal-based protein sources. Carried out by Iberinsect, Zyrcular and Leitat, the project involved processing TM powder produced by Iberinsect by dehydration, defatting and protein hydrolysis techniques, with the goal of obtaining new ingredients with improved functional, sensory and nutritional properties. An enhanced TM powder was ultimately selected by a process involving partial defatting by pressing the larvae, followed by thermal dehydration, milling and sieving. This process improved the technological properties and nutritional profile of the TM powder (up to 65% w/w protein) while ensuring a sufficient production level for the development of new food products. These powders were analyzed in terms of composition (proximate analysis, amino acid profile, macronutrients and micronutrients, lipid profile), as well as microbiological safety and heavy metal content – the latter two to ensure food safety. Meat analogues (such as burgers, sausages and nuggets) were successfully developed with

llastre) amb textura i propietats sensorials mimètiques als homòlegs d'origen animal. Seguidament, es va realitzar l'escalat de la producció de l'anàleg de tipus hamburguesa fins a un nivell preindustrial a la planta de Zyrccular. El treball demostra que el *Tenebrio molitor* és una opció viable basada en un model de producció circular, nutricionalment equilibrada i mediambientalment sostenible, tot i els reptes pendents en acceptació cultural i optimització de costos.

PARAULES CLAU: *Tenebrio molitor*, insecte, proteïna alternativa, anàleg carni, circularitat, sostenibilitat, indústria alimentària, transició proteica, ingredients alimentaris.

texture and sensory properties mimicking those of animal-based counterparts. Then, burger-type analogues were scaled up to a pre-industrial production level at the Zyrccular plant facility. This project demonstrates that Tenebrio molitor is a feasible option based on a circular production model and is nutritionally balanced and environmentally sustainable, despite some remaining challenges related to cultural acceptance and cost optimization.

KEYWORDS: *Tenebrio molitor*, insect, alternative protein, meat analogues, circularity, sustainability, food industry, protein transition, food ingredients.

NECESSITAT D'ALTERNATIVES A LA CARN

La creixent demanda global de proteïna i els límits ambientals associats a la ramaderia tradicional fan urgent la recerca de fonts alternatives i sostenibles. En aquest context, la proteïna d'insecte destaca per la seva elevada eficiència en la conversió de nutrients, el seu baix impacte ambiental i el seu alt valor nutricional (Huis, 2020; Vauterin *et al.*, 2021). A més, la capacitat dels insectes per transformar subproductes orgànics en biomassa rica en proteïna obre la porta a models d'economia circular dins el sector agroalimentari (Smetana *et al.*, 2019). Per tot això, la proteïna d'insecte representa una alternativa estratègica per garantir la seguretat alimentària i construir sistemes alimentaris més resilient i sostenibles (FAO, 2021). Tanmateix, l'adopció a gran escala d'aquesta proteïna depèn de l'evolució de les regulacions alimentàries, ja que la seva comercialització com a nou aliment a la Unió Europea (UE) requereix una avaluació de seguretat prèvia. La normativa actual, com la Regulació (UE) 2015/2283, permet l'ús de la farina de TM en productes alimentaris, però els reptes persistents inclouen la variabilitat de les lleis en l'àmbit internacional, la gestió dels processos de producció per garantir la seguretat i la confiança del consumidor. Així, els marcs reguladors clars i una transició normativa seran clau per a l'acceptació global de la proteïna d'insecte i el desenvolupament d'un sistema alimentari més sostenible.

«La proteïna d'insecte destaca per la seva elevada eficiència en la conversió de nutrients.»

TENEBRIO MOLITOR COM A FONT DE PROTEÏNA ALTERNATIVA PER A ALIMENTACIÓ HUMANA

Davant la necessitat global de fonts proteiques alternatives a la carn, la proteïna d'insectes, i en particular la del TM, es posiciona com una opció prometedora per a l'alimentació humana. El TM ha emergit com una font alternativa de proteïna d'alt valor biològic, amb un perfil nutricional ric en proteïnes, greixos saludables i micronutrients (Rumpold i Schlüter, 2013). El consum d'algunes espècies d'insectes està autoritzat a la UE (Reglament (UE) 2015/2283), i es permet comercialitzar-ne després de seguir el procediment com a «nou aliment» en diverses formes (larves senceres, moltes, deshidratades, congelades) i s'incorporen habitualment com a farines en les formulacions de *snacks*, galetes, pasta, anàlegs carnis, barretes energètiques, batuts, etc. L'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) n'ha confirmat la seguretat, tot i advertir de possibles al·lèrgies en persones sensibles als crustacis o àcars. Des del 2 de juny de 2021, la legislació europea permet la comercialització de productes basats en TM (EFSA, 2021; Reglament d'execució (UE) 2021/882), i n'afavoreix la incorporació en estratègies de sostenibilitat alimentària i com a resposta a la creixent demanda de proteïnes alternatives. Recentment, la UE ha autoritzat la comercialització de farina de TM tractada amb radiació ultraviolada (UV) com a nou ingredient per a l'elaboració de diferents aliments com pans, pastissos, pastes alimentàries, compotes de fruites, etc. (Reglament (UE) 2025/89).

PROJECTE GO DIIANA

El present article es basa en els resultats del projecte GO DIIANA, «Desenvolupament d'una cadena de valor circular i sostenible basada en la integració d'insectes en aliments basats en proteïnes alternatives». Aquest projecte ha estat executat per un consorci empresarial entre Zyrcular Plant, SL i Iberinsect, SL, amb la participació del Centre Tecnològic Leitat com a entitat coordinadora de recerca. GO DIIANA s'ha finançat a través del programa de Grups Operatius de l'Associació Europea per a la Innovació (AEI) en matèria de productivitat i sostenibilitat agrícoles, del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya.

Zyrcular és una empresa dedicada a l'elaboració de productes amb noves fonts de proteïnes de manera integral en les seves plantes de producció pròpies, que busca la màxima sostenibilitat en les seves formulacions, i orientada a la inclusió de productes de proximitat. Actualment elabora principalment productes *plant-based* (anàlegs carnis i de peix), com també productes vegetals, i comercialitza productes innovadors (Beyond Meat, Gardein, Quorn, etc). Zyrcular té un gran interès a fer recerca en noves fonts de proteïnes alternatives amb una petjada ambiental reduïda, com la proteïna de TM.

Iberinsect és una empresa emergent (*startup*) biotecnològica, amb una visió integrada, especialitzada en la producció de l'insecte *Tenebrio molitor* i tots els seu derivats, on transforma matèries primeres vegetals de proximitat en ingredients nutricionals d'alt valor afegit per a l'alimentació animal. En el present projecte, Iberinsect ha aportat la farina de TM amb una granulometria lleugerament superior a la del cereal i amb un alt contingut en àcids grassos insaturats.

Leitat és un centre tecnològic que té com a missió col·laborar amb empreses i entitats per crear valor econòmic i social sostenible a través de la recerca i de processos tecnològics des de la innovació. Leitat està formada per cinc àrees de coneixement: economia circular i descarbonització, salut i biomedicina, serveis tecnològics avançats, química aplicada i materials, indústria digital, i ha liderat i participat en projectes estratègics i de gestió de propostes en R+D+2i (recerca, desenvolupament, innovació tecnològica i innovació no tecnològica o social) i en l'àmbit nacional i europeu.

En el projecte GO DIIANA s'ha dut a terme el desenvolupament de nous ingredients i anàlegs carnis a partir de

TM, superant les limitacions d'aplicació relacionades, principalment, amb la manca de propietats funcionals, qualitat fisicoquímica i propietats organolèptiques dels insectes. En aquest sentit, és necessari que les noves fonts de proteïna alternativa tinguin unes propietats òptimes, no sols des del punt de vista tecnològic, sinó també sensorial, i s'aconsegueixi l'acceptació per part dels consumidors.

En el projecte GO DIIANA es van identificar els reptes tecnològics següents:

- Millorar l'aplicabilitat dels ingredients derivats de TM com a font de proteïna alternativa en productes alimentaris, mitjançant el desenvolupament i avaluació de processos de transformació de la larva (deshidratació, desgreixament, hidròlisi) per dur a terme millores en l'ingredient final.
- Desenvolupar nous anàlegs carnis basats en TM.
- Establir les condicions fisicoquímiques i sensorials per a la incorporació dels ingredients derivats de TM en els productes finals, determinant els paràmetres de qualitat que millorin l'experiència i la percepció del consumidor.

El resultat del projecte pretén establir una cadena de valor integrada per al desenvolupament de productes per a alimentació humana basada en proteïna de TM de producció local, buscant un valor afegit per incentivar l'accés a mercats d'exportació que valoren la traçabilitat i el control de la producció. Alhora, el projecte s'ha enfocat a proporcionar una solució que completi el lineal proteic i augmenti les opcions de selecció per al consumidor.

OBTENCIÓ D'UN NOU INGREDIENT A PARTIR DE TM

La mostra inicial de partida del projecte és farina deshidratada de TM de l'empresa Iberinsect. La deshidratació de les larves facilita el procés de molta, n'assegura una millor qualitat microbiològica i n'allarga la vida útil. Tot i que el producte es pot conservar a temperatura ambient, es recomana mantenir-lo en refrigeració per tal de preservar millor l'estabilitat fisicoquímica i les propietats sensorials de la farina. La molta de les larves és un procés fonamental en l'estratègia de comercialització de les farines d'insectes.



Figura 1. Larves, farina inicial de TM i farina millorada de TM.
Font: Elaboració pròpia.

La farina deshidratada de larves de TM d'Iberinsect presenta un color marró enfosquit (figura 1) i té l'aroma i olor característiques de la farina de TM, sovint identificada amb notes aromàtiques que evocuen fruits secs, bolets, cereals, olor de terra mullada i notes olioses (Seo *et al.*, 2020). També s'ha identificat com a potenciador del sabor i s'ha relacionat amb el sabor umami (Wendin *et al.*, 2019; Elhassan *et al.*, 2019). La farina presenta una textura trencadissa amb una certa tendència a l'aglomeració quan es pressiona o barreja degut al seu alt contingut lipídic (31,1 % p/p).

La farina de TM va presentar una solubilitat baixa en aigua, però es va observar una certa capacitat emulsionant i de retenció d'oli que afavoria l'obtenció d'emulsions estables amb olis vegetals. Aquestes característiques tecnofuncionals van millorar amb l'obtenció de la nova farina de TM.

Durant el projecte es va realitzar un estudi de diferents processos de transformació de la larva de TM: des-

hidratació tèrmica, desgreixament per solvent i desgreixament físic per premsatge. A més a més, es van desenvolupar processos enzimàtics per tal d'obtenir hidrolitzats rics en proteïna soluble i aminoàcids lliures. Les condicions per a cada tipus de procés es van determinar mitjançant un disseny experimental d'anàlisi de superfície de resposta (RSM —de l'anglès *response surface methodology*—, RSM, Design-Expert v13, Minneapolis, Estats Units). Per a cadascun dels processos es van estudiar diferents condicions de tractament, seleccionant un tipus d'ingredient per procés. Seguidament es van avaluar les característiques sensorials, la composició nutricional i les propietats tecnofuncionals de cada nou derivat de TM.

Les farines millorades presentaven resultats molt eficaços de desgreixament per solvent (<1 % greix p/p) i l'hidrolitzat proteic obtingut presentava una millora significativa de la solubilitat i amb continguts de proteïna elevats per sobre el 60 % en pes sec. Del conjunt d'ingredients desenvolupats i seleccionats en el marc del pro-

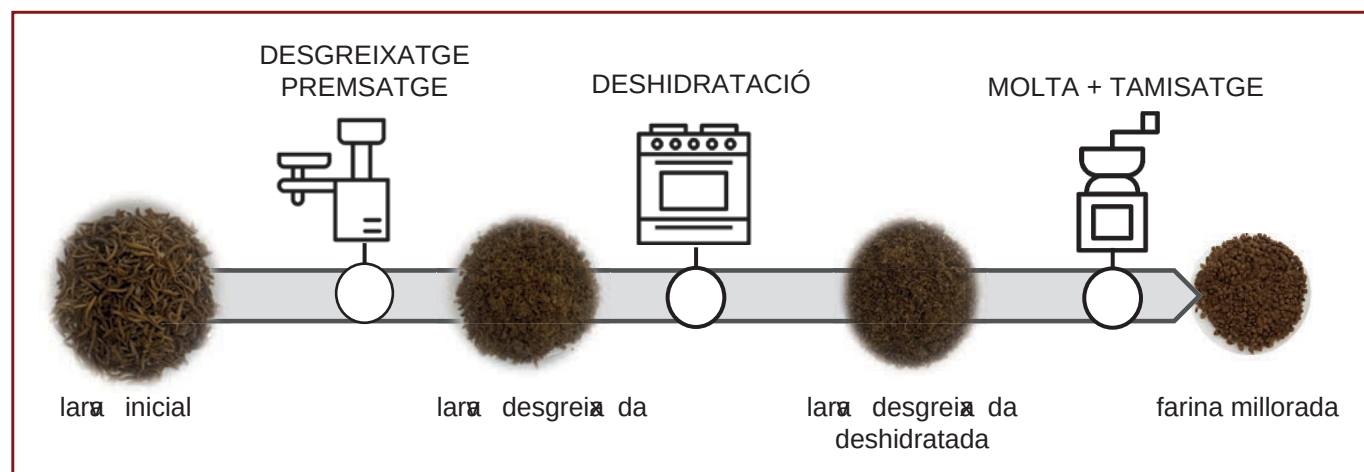


Figura 2. Diagrama de procés per a l'obtenció de la farina millorada.
Font: Elaboració pròpia.

jecte, finalment es va procedir a la selecció de farina parcialment desgreixada i deshidratada per premsatge, seguida d'un assecatge tèrmic, molta i tamisatge (vegeu la figura 2). La mida de partícula de la farina millorada després del procés de molta i tamisatge és inferior a 0,5 mm. La farina obtinguda mitjançant aquest procés tenia bones característiques tecnològiques i nutricionals, alhora que assegurava el nivell requerit de producció del nou ingredient per realitzar l'escalat industrial de l'anàleg a partir de TM.

Cal destacar que aquesta nova farina de TM va millorar la solubilitat en aigua i va mantenir la capacitat emulsio-nant i de retenció d'oli. Aquests resultats també es corresponen amb les propietats funcionals del TM incloses en l'article de revisió de Queiroz *et al.* (2023). La microestructura de les emulsions es va avaluar per microscòpia òptica (Iroscope, Microlux MX-T, Mèxic DF, Mèxic). En la figura 3 s'observa una imatge representativa de la microestructura formada per una emulsió d'aigua en oli (9 % farina millorada de TM, 45 % oli de gira-sol), preparada per agitació. Aquestes emulsions es poden descriure com a no floculades, ja que es van mantenir estables i no es van observar fenòmens de coalescència durant els dos mesos d'emmagatzematge en refrigeració. Aquests resultats es corresponen amb els obtinguts per Gould i Wolf (2018), en què emulsions d'oli en aigua (20 % p/p oli de gira-sol) van ser estabilitzades amb aïllament de proteïna de TM (entre el 0,44 % i 2,63 % p/p) i es van mantenir estables sense fenòmens de coalescència significatius durant un període de dos mesos.

A continuació es mostra una comparativa entre les característiques inicials de la farina de TM i les de la farina millorada pel que fa a la composició nutricional i microbiològica.

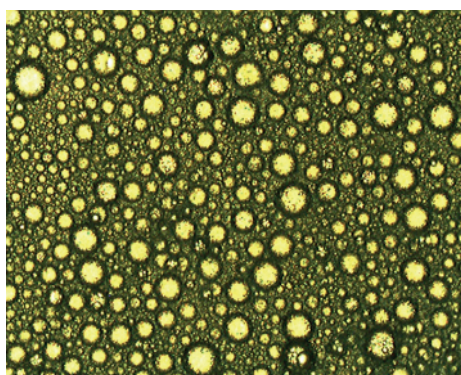


Figura 3. Imatge obtinguda per microscòpia òptica de la microestructura d'una emulsió d'aigua en oli (45 % p/p oli de gira-sol) estabilitzada amb un 9 % de farina millorada de TM.
Font: Elaboració pròpia.

«La microestructura de les emulsions es va avaluar per microscòpia òptica.»

METODOLOGIA DE LES ANÀLISIS DE CARACTERITZACIÓ DE LA FARINA DE TM

Anàlisis de la caracterització composicional

Per tal de caracteritzar la farina s'han fet les anàlisis següents: proximal, perfil lipídic, aminograma, macronutrients i micronutrients i metalls pesants, usant mètodes estandarditzats d'anàlisi química per a aliments. En l'anàlisi proximal es determina la humitat per gravimetria del residu sec, els greixos per extracció de la fase lipídica (Soxhlet), la proteïna per determinació del nitrogen total (Kjeldahl), les cendres per gravimetria, els carbohidrats solubles pel mètode fenol - àcid sulfúric (espectrofotometria UV-Vis, 490 nm) i carbohidrats totals per diferència respecte a la resta de components. El perfil lipídic es determina per cromatografia de gasos (GC) i espectroscòpia de masses (MS) a partir de la fracció lipídica obtinguda en el Soxhlet. El contingut en aminoàcids totals es quantifica per cromatografia líquida (HPLC, de l'anglès *high pressure liquid chromatography*) amb un detector díode Array (DAD). Els macro- i micronutrients (Si, Al, Fe, Mg, K, Ca, Na) i els metalls pesants (Cr, As, Cd, Ba, Hg, Pb) es determinen per espectrometria de masses per plasma d'acoblament inductiu (ICP-MS).

Anàlisis de la caracterització microbiològica

A continuació s'indiquen els mètodes ràpids de detecció microbiològica emprats per a la caracterització microbiològica de la farina de TM: bacteris aerobis mesofílics totals mitjançant el medi agar de triptona de soja (Oxoid Ltd., Basingstoke, Regne Unit), *Salmonella* spp. mitjançant el medi IRIS Salmonella Agar®, *Listeria* spp. i *Listeria monocytogenes* mitjançant el medi Compass Listeria Agar®, *Bacillus cereus* mitjançant Compass Bacillus Cereus Agar®, *Pseudomonas* spp. mitjançant el medi Rhapsody Agar®, *Escherichia coli* i coliformes mitjançant la placa de recompte Petrifilm® 3M *E. Coli*/coliformes, enterobacteris mitjançant la placa de recompte Petrifilm® 3M *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus aureus* mitjançant la placa de recompte Petrifilm® 3M Staph Express. Tots aquests

mètodes compten amb les certificacions AOAC/AFNOR corresponents. Per calcular i expressar els resultats s'apliquen els criteris de la norma UNE-EN ISO 7218:2008/A1:2013.

RESULTATS

Els resultats inclosos en les taules 1, 2 i 3 i en les figures 4 i 5 demostren que la farina deshidratada inicial de TM és una molt bona font de proteïna (49,5 % p/p) i de greixos saludables (32,0 % p/p), amb una relació de greixos insaturats-saturats (3:1) i amb un 18,5 % d'àcids grassos del tipus omega-6, i amb el 14,7 % de carbohidrats totals (dels quals el 6,7 % p/p són carbohidrats solubles). En la farina millorada la concentració de proteïna arriba fins al 65,21 % p/p, mentre que la concentració de greixos totals es redueix parcialment fins al 18 % p/p. L'anàlisi del perfil d'aminoàcids ens mostra que la farina inicial presenta una gran diversitat d'aminoàcids: la Prolina (PRO) amb contingut de 5 g / 100 g

de farina (10 g / 100 g de proteïna), l'àcid glutàmic (GLU) amb contingut de 5 g / 100 g de farina (10,7 g / 100 g de proteïna), l'arginina (ARG) amb contingut de 4 g / 100 g de farina (8,3 g / 100 g de proteïna) i l'àcid aspàrtic (ASP) amb 3,8 g / 100 g (7,7g / 100 g de proteïna). Cal destacar també la riquesa en leucina (LEU), lisina (LYS) i alanina (ALA). També s'observa que la concentració de tots els aminoàcids augmenta en la farina millorada.

Respecte als àcids grassos majoritaris, la farina inicial de TM conté àcid mirístic (C14:0), amb valors d'1,23 g / 100 g de farina (3,4 g / 100 g greix); àcid palmític (C16:0), amb valors de 5,7 g / 100 g de farina (17,7 g / 100 g greix); àcid esteàric (C18:0), amb valors d'1,2 g / 100 g de farina (3,7 g / 100 g greix); l'àcid palmitoleic (C16:1) es troba amb valors de 0,8 g / 100 g de farina (2,5 g / 100 g de greix); l'àcid cis-oleic (C18:1n9), amb valors de 16,6 g / 100 g de farina (51,9 g / 100 g greix), així com l'àcid cis-linoleic (C18:2n6), amb valors de 5,9 g / 100 g de farina (18,5 g / 100 g de greix). Tenint en compte la

Taula 1. Composició nutricional comparativa de la farina inicial amb la farina millorada de TM (valors expressats en grams de component / 100 grams de farina)

MOSTRES	PROTEÏNA (G / 100 G)	GREIX (G / 100 G)	CARBOHIDRATS (G / 100 G)	CENDRES (G / 100 G)	HUMITAT (G / 100 G)
Farina inicial	49,5 ± 0,3	31,1 ± 0,5	14,7 ± 1,5	3,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Farina millorada	65,2 ± 0,3	18,0 ± 0,5	11,3 ± 1,7	3,9 ± 0,2	1,6 ± 0,1

Font: Elaboració pròpia.

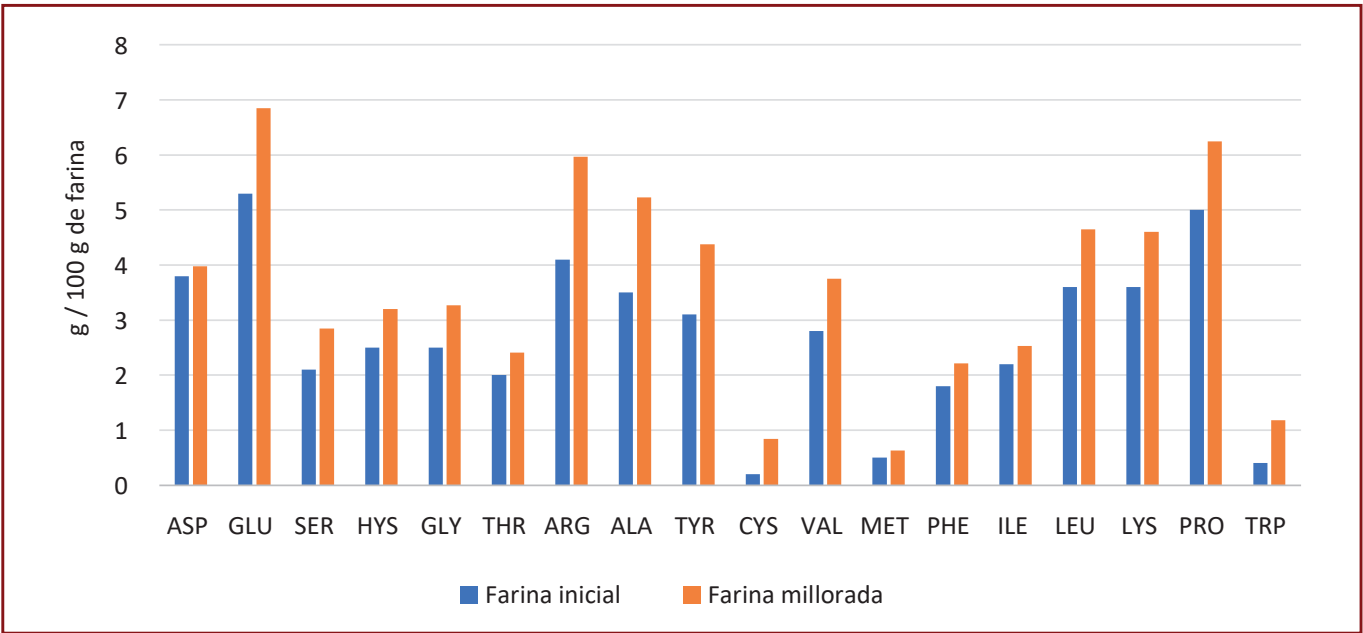


Figura 4. Composició d'aminoàcids totals de la farina inicial i de la farina millorada de TM (valors expressats en grams d'aminoàcids / 100 grams de farina). Font: Elaboració pròpia.

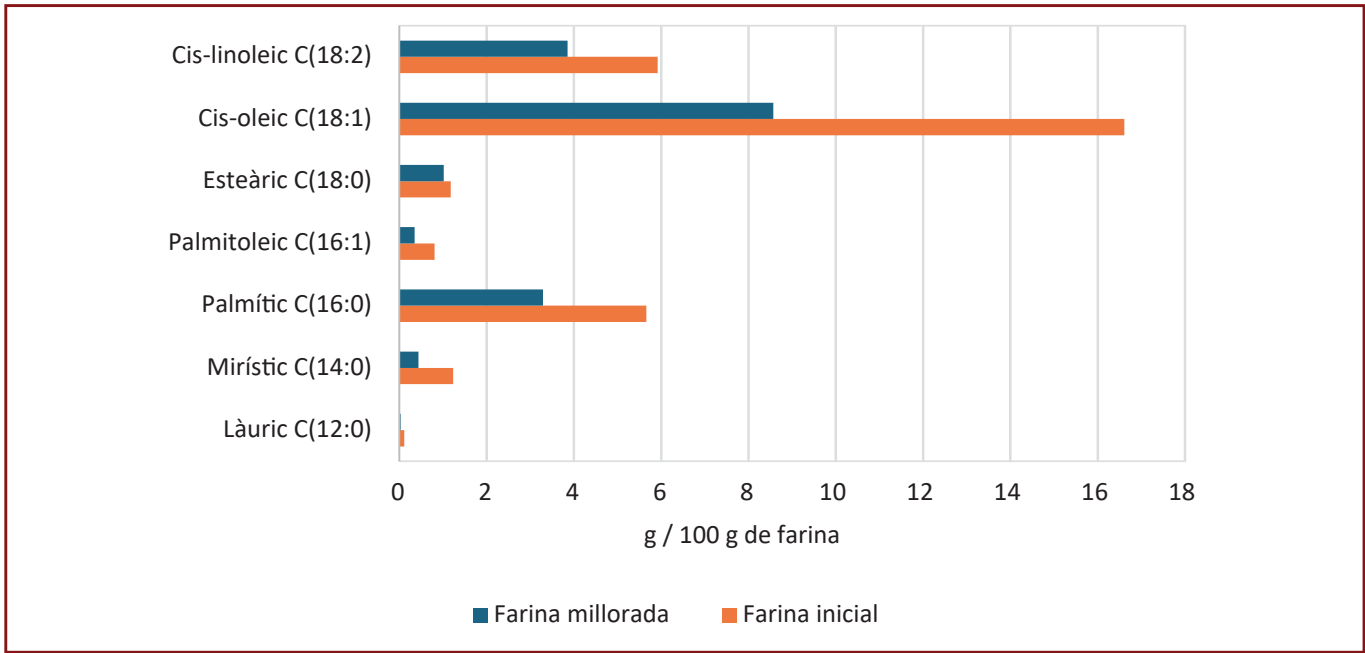


Figura 5. Composició del perfil lipídic de la farina inicial i de la farina millorada de TM (valors expressats en grams d'àcids grassos / 100 g de farina).
Font: Elaboració pròpia.

suma de tots els àcids grassos saturats, la farina de TM té 8,3 g / 100 g de farina (25,9 g / 100 g de greix); com a àcids grassos poliinsaturats, la farina té un total de 6,2 g / 100 g de farina (19,4 g / 100 g de greix), i, com a àcids grassos majoritaris, serien els monoinsaturats, amb un total de 14,5 g / 100 g de farina (54,6 g / 100 g de greix). Respecte a la farina millorada, en els resultats de la taula 1 s'observa que manté el mateix perfil lipídic i es redueixen les quantitats globals degut al desgreixament.

L'anàlisi de minerals i metalls de la farina inicial ens mostra que el fòsfor (P) i el potassi (K) són els macroelements majoritaris, amb continguts d'aproximadament 9.200 ppm (0,9 g / 100 g de farina) i 10.000 ppm (1 g / 100 g de farina), respectivament. En relació amb els microelements, el Zn i el Fe són els majoritaris, amb concentració de 165 ppm (16 g / 100 g de farina) i 68 ppm (6,8 g / 100 g de farina). També cal destacar que no s'ha detectat la presència de metalls pesants en la farina

Taula 2. Composició dels àcids grassos saturats, monoinsaturats i poliinsaturats de la farina inicial i de la farina millorada de TM (valors expressats en grams d'àcids grassos / 100 g de farina)

	FARINA INICIAL (G / 100 G DE FARINA)	FARINA MILLORADA (G / 100 G DE FARINA)
Àcids grassos saturats totals	8,30 ± 0,00	4,90 ± 0,00
Àcids grassos monoinsaturats totals	17,47 ± 0,01	8,99 ± 0,01
Àcids grassos poliinsaturats totals	6,21 ± 0,01	4,10 ± 0,01
Àcids grassos omega-3 (linolènic + EPA + DPA + DHA)	0,20 ± 0,00	0,11 ± 0,01
Àcids grassos omega-6 (linoleic + araquidònic)	5,92 ± 0,01	3,86 ± 0,01

Font: Elaboració pròpia.

Taula 3. Composició de microelements i macroelements de la farina inicial de TM (valors expressats de microelement i macroelement en mg/kg de farina)

NA	MG	P	K	CA
1.845 ± 93	3.244 ± 107	9.199 ± 275	9.993 ± 499	1.205 ± 5
Mn	Fe	Zn	Se	Mo
10,8 ± 0,3	63 ± 2	165 ± 3	0,8 ± 0,1	1,06 ± 0,02

Font: Elaboració pròpia.

Taula 4. Resultats de la caracterització microbiològica de la farina inicial i de la farina millorada de TM

PARÀMETRE	FARINA MILLORADA	FARINA COMERCIAL
Recompte d'aerobis (ufc/g)	6 × 10 ³	4 × 10 ³
Recompte de fongs i llevats (ufc/g)	<10 ^[a]	<10 ^[a]
Recompte de <i>B. cereus</i> (ufc/g)	<10 ^[a]	<10 ^[a]
Recompte de coliformes 30 °C (ufc/g)	<10 ^[a]	<10 ^[a]
<i>Salmonella</i> spp. (ufc/g)	Absència en 25 g	Absència en 25 g
<i>Listeria monocytogenes</i> / <i>Listeria</i> spp. (ufc/g)	Absència en 25 g	Absència en 25 g

Nota: a. No es va observar creixement de colònies presumptives. S'indica com a inferior al límit de detecció.
Font: Elaboració pròpia.

d'Iberinsect. També s'han fet anàlisis microbiològiques i, com es pot observar en la taula 4, no s'ha detectat la presència de *Bacillus cereus*, coliformes, *Salmonella* spp. i *Listeria monocytogenes* en la farina inicial i en la farina millorada. En la farina inicial tampoc no es va detectar la presència (<10 ufc/g) de *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas* spp. i enterobacteris. A més, la farina presenta un recompte d'aerobis baix, de l'ordre de 10³ ufc/g. Els resultats de les darreres anàlisis aporten dades que permeten avaluar favorablement la seguretat de la farina de TM i del procés productiu de la larva.

DESENVOLUPAMENT D'ANÀLEGS CARNIS

En el marc del projecte GO DIIANA s'han desenvolupat tres anàlegs carnis elaborats a partir de farina de TM: de tipus delícia (*nugget*) de pollastre, de tipus salsitxa i de tipus hamburguesa. L'hamburguesa es va desenvolupar com a prototip en el laboratori i després es

Taula 5. Ingredients usats per a l'elaboració dels anàlegs carnis de delícia de pollastre, salsitxa i hamburguesa a partir de TM

INGREDIENT	DELÍCIA DE POLLASTRE	SALSITXA	HAMBURGUESA
Farina millorada de TM	x	x	x
Proteïna texturitzada de soja	x	x	x
Proteïna texturitzada de pèsol	x		x
Midó modificat de blat de moro	x		x
Farina de blat	x		
Farina d'arròs			x
Farina de cigró			x
Fècula de patata		x	
Aigua	x	x	x
Oli de gira-sol	x	x	x
Greix de coco desodoritzat			x
Fibres vegetals	x		x
Alginat de sodi		x	
Lactat gluconat de calci		x	
Sulfat de sodi		x	
Metilcel·lulosa	x		x
Carragenat kappa		x	
Tripolifosfat de sodi		x	
Aromes	x	x	x
Vegetals deshidratats			x
Espècies		x	
Sucre		x	
Sal	x	x	x

Font: Elaboració pròpia.

va procedir a un escalat preindustrial a les instal·lacions de Zyrcular. En el disseny de les formulacions es van establir estratègies per tal d'obtenir una textura mimètica a l'homòleg carni i per reduir o emascarar la percepció de la incorporació de la farina d'insecte. Per assolir aquestes premisses es va treballar amb diferents ingredients, additius i aromes per tal d'optimitzar la percepció aromàtica i sensorial i aportant també una textura fibrosa i consistent als anàlegs carnis. En la taula 5 es poden observar els diferents ingredients emprats per a cada aliment.

A continuació s'ha inclòs una descripció de la preparació de cada tipus d'anàleg prototip (al laboratori) i del procés d'escalat preindustrial de l'anàleg de tipus hamburguesa.

ANÀLEG CARNI DE TIPUS SALSITXA

En el cas de l'anàleg de salsitxa, es van usar com a referència salsitxes càrniques i comercials i es van identificar les fonts de proteïna vegetal i els principals ingredients incorporats en la seva formulació. A partir del recull de dades inicial, es realitzen diferents formulacions per tal de trobar aquella combinació i concentració d'ingredients, conjuntament amb la incorporació de la farina d'insecte, que ofereixi les millors característiques organolèptiques.

Per a l'elaboració de la salsitxa, es va seguir un procés de barreja i emulsió dels ingredients en la màquina per picar la carn, seguit d'embotició de la massa resultant en tripes de cel·lulosa. Les salsitxes es van deixar reposant durant 15-18 hores totalment submergides en un bany de lactat de calci durant una nit i en refrigeració, per tal d'afavorir l'enduriment de la superfície. Posteriorment, es van coure submergides en un bany d'aigua. Finalment, es va retirar la tripa de les salsitxes i es van envasar al buit en bosses retràctils per ser pasteuritzades en l'interior de les bosses.

L'anàleg de salsitxa es va formular a partir d'alginat de sodi, amb les corresponents fonts de calci (sulfat de calci, gluconolactat de calci) per tal de garantir la gelificació de l'alginat. Es va escollir sulfat de calci procurant que la gelificació tingués una cinètica relativament lenta per tal de facilitar el procés d'embotició després de la barreja d'ingredients. La duresa de la salsitxa augmenta durant el procés de cocció degut a l'efecte combinat de la gelificació de la fècula, la solubilització i

activació del carragenat i la coagulació de la proteïna de soja. La duresa de la salsitxa també augmenta durant el temps d'emmagatzematge en refrigeració, degut a la progressiva reacció de l'alginat amb les diferents fonts de calci. Cal tenir en compte que s'ha usat un bany de lactat de calci per tal d'aportar una duresa extra en la superfície de la salsitxa, per imitar la duresa de la mossegada de la pell exterior d'una salsitxa de Frankfurt. Les propietats funcionals de la farina millorada de TM van permetre una bona incorporació en la formulació de l'anàleg de salsitxa en combinació amb la resta dels ingredients (figura 6).



Figura 6. Anàleg de salsitxa.
Font: Elaboració pròpia.

ANÀLEG CARNI DE TIPUS DELÍCIA DE POLLASTRE

Com a punt de partida es van caracteritzar delícies i productes vegans de tipus *nugget* disponibles comercialment i es van identificar les fonts de proteïna vegetal i els principals ingredients incorporats en la seva formulació. Es van realitzar diferents formulacions per establir el percentatge d'incorporació màxim de la farina d'insecte, per tal d'avaluar-ne l'impacte en les propietats sensorials, tant pel que fa a la textura com al perfil aromàtic. En la formulació escollida desapareix la sensació farinosa, degut a la reducció de la mida de partícula de la farina millorada de TM, i l'aroma de pollastre escollit emmascara les notes aromàtiques característiques del TM.

Per preparar les delícies, primer s'hidraten en les proporcions requerides els texturitzats de soja i pèsol. Seguidament es dispersa la metilcel·lulosa en aigua per tal d'assegurar-ne una correcta hidratació i s'hi afegeixen la resta d'ingredients sòlids, prèviament barrejats entre

ells. Després s'hi incorporen els texturitzats vegetals hidratats i, una vegada barrejats, s'hi afegeix l'oli amb l'agitació mecànica de cisalla necessària per emulsionar-lo, sense afectar la fibrositat que aporten els texturitzats. A partir de la massa resultant, es procedeix a la formació de les delícies en unitats individuals de 25 grams i a l'arrebossat.

En els anàlegs de delícia s'ha cercat una formulació que, en escalfar-se durant la cocció, n'augmenti significativament la duresa. L'aplicació de calor durant la cocció afavoreix la gelificació dels midons, la metilcel·lulosa i la coagulació de les proteïnes, cosa que fa augmentar la textura (compressió i tall) de les delícies en consumir-les en calent. També és important mantenir la fibrositat dels texturitzats vegetals per tal d'imitar les fibres característiques de la carn de pollastre. Els resultats de les delícies es poden veure en la figura 7.



Figura 7. Anàleg de delícia de pollastre.
Font: Elaboració pròpia.

ANÀLEG CARNI DE TIPUS HAMBURGUESA

A partir del recull de dades inicials d'hamburgueses càrniques i productes vegans de tipus hamburguesa comercials, s'han dissenyat formulacions que mantinguessin la composició visual de tipus carn picada característica d'una hamburguesa, així com la seva textura i el perfil aromàtic de vedella. Es va seleccionar una barreja de texturitzat de soja i pèsol i es van seleccionar unes mides de partícula específiques, amb l'objectiu d'imitar les característiques organolèptiques pel que fa a la textura i sensació fibrosa en boca de l'homòleg carni. El greix de coco desodoritzat completava el disseny visual amb els punts de greix blanc característics de la carn picada i

aportava palatabilitat, juntament amb l'oli de gira-sol. L'adequació de la mida de partícula i la concentració de la farina **millorada** de TM van permetre la seva incorporació en la formulació de les hamburgueses.

Per a la preparació de les hamburgueses, es van hidratar els texturitzats de soja i pèsol amb les proporcions d'aigua requerides. Seguidament, es va picar el greix de coco desodoritzat. Després de pesar tots els ingredients secs, es van hidratar i barrejar en aigua. Després es van afegir i barrejar els texturitzats vegetals hidratats i el greix de coco. Finalment s'hi va incorporar l'oli de gira-sol mitjançant un procés de pastament. A partir d'aquesta massa resultant es van formar anàlegs de tipus hamburguesa en unitats de 70 grams (figura 8).

Les bones característiques sensorials d'aquesta hamburguesa, el procés de fabricació adaptat a un procés industrial d'una hamburguesa de matriu càrnica i la disponibilitat dels ingredients van fer que Zyrular decidís escalar-ne la producció fins a un nivell preindustrial.



Figura 8. Anàleg d'hamburguesa.
Font: Elaboració pròpia.

ESCALAT INDUSTRIAL DE L'ANÀLEG D'HAMBURGUESA

Zyrular va procedir a l'escalat preindustrial de l'hamburguesa. Partint de la fórmula aportada per Leitat, Zyrular va realitzar-ne alguns canvis al laboratori per tal que la massa es pogués formatejar a escala industrial. Es van fer 50 kg de massa total seguint el procediment estàndard de preparació de productes vegans de tipus hamburguesa. Inicialment, s'hidraten els texturitzats de soja i de proteïna de pèsol en la pastadora. Seguidament, s'hi afegeix el greix de coco, prèviament picat, i la resta d'ingredients en pols i es pasten. Després, s'hi incorpora l'oli de gira-sol i es procedeix al pastament final. Es descarrega de la pastadora i es porta a l'embotidora, on es preparen les hamburgueses estàndard de 100 g. S'envasa en atmosfera modificada de 100 % de nitrogen.

S'obté un producte final compacte i de molt bona qualitat organolèptica. L'anàlisi sensorial en un panel de consumidors ha aportat bones valoracions pel que fa als atributs sensorials avaluats en una escala de 9 punts: aparença, sabor, farinositat, duresa, textura fibrosa i color (figura 9). Cal destacar que la duresa i textura fibrosa obtingudes han estat molt ben valorades pels consumidors (7,8 i 7,5, respectivament). També s'ha obtingut un bon sabor de vedella (7,3), fet que indica que les aromes aplicades permeten aportar un bon perfil aromàtic que emmascara el potencial aroma de TM, i una baixa sensació farinosa (2,1), que podria ser indicativa de la presència de la farina molta de TM. En l'àmbit microbiològic, el producte era segur (lliure de patògens), amb un recompte d'aerobis de 5×10^3 ufc/g i amb un recompte de fongs i llevats per sota del límit de detecció (<10 ufc/g).



Figura 9. Anàleg d'hamburguesa.
Font: Elaboració pròpia.

CONCLUSIONS

El projecte ha demostrat que la farina de TM és una font proteica d'alt valor biològic, amb un perfil nutricional ric en proteïnes (fins al 65,2 % després del procés de millora), àcids grassos saludables (com omega-6) i minerals essencials (Fe, Zn, P).

La farina millorada de TM d'Iberinsect permet incorporar-la d'una manera estable a nivell fisicoquímic en les quatre formulacions alimentàries que s'han desenvolupat en el present projecte. Aquest fet mostra que la farina de TM posseeix unes propietats funcionals adequades per a l'elaboració d'anàlegs carnis en combinació amb fonts de proteïnes vegetals.

Les formulacions d'anàlegs carnis han estat desenvolupades usant els mateixos processos i maquinària presents a la indústria càrnica, fet que permet integrar-ne l'elaboració usant la maquinària ja existent.

L'escalat industrial de l'hamburguesa n'ha confirmat la viabilitat comercial, amb una bona valoració per part dels consumidors en atributs com fibrositat, sabor i absència de farinositat.

«El projecte ha demostrat que la farina de TM és una font proteica d'alt valor biològic.»

Tot i els avanços tecnològics, persisteixen reptes com l'acceptació cultural dels insectes a Occident i l'optimització de costos en la producció a gran escala. No obstant això, el marc regulatori favorable (autorització EFSA) i l'interès creixent en aliments innovadors obren oportunitats per a l'exportació i diversificació de productes basats en proteïna d'insecte.

AGRAÏMENTS

Agraïm especialment la col·laboració de Jordi Calbet, d'Iberinsect, i d'Ot Fortuny i Laia Vergés, de Zyrcular, per tot l'esforç i col·laboració durant l'execució del projecte. També volem agrair especialment tota la dedicació de Naia Almirall durant l'elaboració dels prototips alimentaris.

El projecte GO DIANA ha estat finançat pel programa de Grups Operatius de l'Associació Europea per a la Innovació (AEI) en matèria de productivitat i sostenibilitat agrícoles (operació 16.01.01 del Programa de Desenvolupament Rural de Catalunya (PDR) 2014-2020), del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya.

REFERÈNCIES

- EFSA PANEL ON NUTRITION, NOVEL FOODS AND FOOD ALLERGENS (NDA) (2021). «Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283 (2021)». *EFSA Journal* [en línia], 19 (1), 6343. <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>>.
- ELHASSAN, M.; WENDIN, K.; OLSSON, V.; LANGTON, M. (2019). «Quality aspects of insects as food - Nutritional, sensory, and related concepts». *Foods* [en línia], 8 (3), 95. <<https://doi.org/10.3390/foods8030095>>.
- FAO = FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2021). *Looking at edible insects from a food safety perspective: Challenges and opportunities for the sector* [en línia]. Roma: FAO. <<https://doi.org/10.4060/cb4094en>>.
- GOULD, J.; WOLF, B. (2018) «Interfacial and emulsifying properties of mealworm protein at the oil/water interface». *Food Hydrocolloids* [en línia], 77, p. 57-65. <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.018>>.
- HUIS, A. van (2020). «Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review». *Journal of Insects as Food and Feed* [en línia], 6 (1), p. 27-44. <<https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>>.
- 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), e14831. <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14831>>.

Reglament (UE) 2015/2283 del Parlament Europeu i del Consell, de 25 de novembre de 2015, relatiu als nous aliments, pel qual es modifica el Reglament (UE) núm. 1169/2011 del Parlament Europeu i del Consell i es deroga el Reglament (CE) núm. 258/97 del Parlament Europeu i del Consell i el Reglament (CE) núm. 1852/2001 de la Comissió [en línia]. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32015R2283>> [Consulta: 15 abril 2025].

Reglament d'execució (UE) 2021/882 de la Comissió, d'1 de juny de 2021, pel qual s'autoritza la comercialització de larves de *Tenebrio molitor* dessecades com a nou aliment d'acord amb el Reglament (UE) 2015/2283 del Parlament Europeu i del Consell i es modifica el Reglament d'execució (UE) 2017/2470 de la Comissió [en línia]. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R0882>> [Consulta: 17 abril 2025].

Reglament d'execució (UE) 2025/89 de la Comissió, de 20 de gener de 2025, pel qual s'autoritza la comercialització de pols tractada amb radiació ultraviolada de larves senceres de *Tenebrio molitor* (cuc de la farina) com a nou aliment i es modifica el Reglament d'Execució (UE) 2017/2470 [en línia]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202500089> [Consulta: 17 abril 2025].

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. (2013). «Nutritional composition and safety aspects of edible insects». *Molecular Nutrition & Food Research* [en línia], 57 (5), p. 802-823. <<https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>>.

SEO, H.; KIM, H. R.; CHO, I. H. (2020). «Aroma characteristics of raw and cooked *Tenebrio molitor* larvae (Mealworms)». *Food Science of Animal Resources* [en línia], 40 (4), p. 649-658. <<https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e35>>.

SMETANA, S.; SCHMITT, E.; MATHYS, A. (2019). «Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment». *Resources, Conservation and Recycling* [en línia], 144, p. 285-296. <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>>.

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, 128799. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128799>>.

WENDIN, K.; OLSSON, V.; LANGTON, M. (2019) «Mealworms as food ingredient —Sensory. Investigation of a model system (2019)». *Foods* [en línia], 8 (8), 319. <<https://doi.org/10.3390/foods8080319>>.

Mètodes òptics per a la detecció de biofilms *in situ*

Optical methods for detecting biofilms in situ

NURIA DE FRANCISCO CAMPRUBÍ

Graduada en ciència i tecnologia dels aliments (CTA), Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.



BERNAT PEREZ-PLAYÀ

Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.



CAROLINA RIPOLLES-AVILA

Professora agregada Serra Húnter, Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.



MANUEL CASTILLO

Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.



RESUM: Els biofilms són estructures microbianes altament resistents que suposen un risc per a la seguretat alimentària, ja que permeten a microorganismes patògens, com la *Salmonella* o *Listeria monocytogenes*, persistir en superfícies de contacte amb aliments de la indústria alimentària als processos habituals de neteja i desinfecció. La presència de biofilms pot provocar contaminació creuada, deteriorament de productes, ineficiència d'equips i riscos per a la salut pública. En aquest estudi, es revisen els mètodes òptics disponibles per a la detecció de biofilms *in situ* i en temps real, amb l'objectiu d'identificar tècniques aplicables a la indústria alimentària que facilitin una detecció ràpida i eficaç. Es presenta una classificació dels mètodes segons la naturalesa de la mesura, la necessitat de mostreig i el tipus de lectura. D'entre les tècniques revisades, es destaquen sensors de fluorescència, espectroscòpia i tecnologies basades en fibra òptica com a opcions més prometedores. També es proposa la combinació de mètodes fixos i portàtils com a estratègia òptima per al monitoratge i control eficaç de biofilms. Aquest enfocament pot millorar els protocols d'higiene i contribuir a la seguretat alimentària basant-se en una detecció ràpida i específica.

ABSTRACT: Biofilms are highly resistant microbial structures that pose a risk to food safety, as they allow pathogenic microorganisms such as *Salmonella* or *Listeria monocytogenes* to persist on food-contact surfaces in the food industry despite standard cleaning and disinfection procedures. The presence of biofilms can cause cross-contamination, product spoilage, equipment inefficiency, and public health risks. This study reviewed available optical methods for the *in situ* and real-time detection of biofilms, aiming to identify techniques applicable to the food industry that enable rapid and effective detection. A classification of methods is presented based on the nature of the measurement, sampling requirements, and type of signal reading. Among the techniques reviewed, fluorescence sensors, spectroscopy, and fiber-optic-based technologies stand out as the most promising options. The combination of fixed and portable methods is also proposed as an optimal strategy for efficient biofilm monitoring and control. This approach could improve hygiene protocols and contribute to food safety through fast specific detection.

PARAULES CLAU: biofilms, mètodes òptics, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas*, higiene, espectroscòpia, fluorescència, *in situ*, neteja i desinfecció, indústria alimentària, fibra òptica.

KEYWORDS: biofilms, optical methods, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas*, hygiene, spectroscopy, fluorescence, *in situ*, cleaning and disinfection, food industry, optical fiber.

1. INTRODUCCIÓ

Un dels problemes principals a la indústria alimentària en referència a la innocuïtat dels aliments i consegüent transmissió de malalties està representat per la supervivència de microorganismes patògens o alterants que formin biofilms. La capacitat dels microorganismes per formar aquestes estructures, relacionades amb la protecció davant dels processos de neteja i desinfecció comuns, en dificulta l'eliminació i en desencadena la persistència al llarg del temps. En conseqüència, els microorganismes que conformen aquestes estructures poden romandre al medi ambient després del sanejament (Coughlan *et al.*, 2016) i provocar deteriorament dels aliments, risc de malalties de transmissió alimentària, pèrdues econòmiques degudes al rebuig del producte contaminat i mal funcionament en els equips, com, per exemple, la ineficiència energètica causada per la formació de biofilms en superfícies de transferència de calor, entre d'altres (Téllez, 2010).

Les condicions ambientals que hi ha a les instal·lacions alimentàries propicien, en molts casos, la presència d'una comunitat microbiana molt diversa depenent del tipus d'indústria alimentària que es consideri (Ripolles-Avila *et al.*, 2019). Aquesta comunitat pot formar biofilms que alberguen múltiples espècies, incloent-hi microorganismes patògens, que podrien conduir al desenvolupament de malalties (Piera, 2003), fins a microorganismes que deteriorenen els aliments (Srey *et al.*, 2013; Røder *et al.*, 2016). Per això, és molt important detectar aquestes estructures, amb la finalitat de prendre decisions de manera ràpida i fiable en relació amb els procediments de neteja i desinfecció emprats a la indústria alimentària i per, posteriorment, prevenir-ne la formació (Ripolles-Avila *et al.*, 2020).

«Els biofilms són agregats de microorganismes que es mantenen adherits a una superfície viva o inerta.»

La dificultat per detectar biofilms *in situ* o amb rapidesa en complica l'eliminació, de manera que es pot propagar i agreujar la problemàtica associada a la seva existència. Alguns dels mètodes actuals requereixen un cert temps per a l'obtenció dels resultats i, per tant, la posterior presa de decisions es produeix de manera tardana. D'entre les metodologies existents per a la detecció de biofilms, destaquen les òptiques per la seva idoneïtat quant a l'obtenció de resultats immediats.

L'objectiu del present treball ha estat realitzar una cerca bibliogràfica amb la finalitat d'identificar mètodes d'anàlisi capaços de detectar, en temps real, la presència de biofilms en superfícies de la indústria alimentària. Aquest treball s'ha centrat en la revisió de literatura científica relacionada amb estudis bibliogràfics, experimentals o projectes que existeixen fins al moment, incloent-hi també documentació tècnica d'equips comercials.

2. DEFINICIÓ DE BIOFILM I ETAPES DE FORMACIÓ

Els biofilms són agregats de microorganismes que es mantenen adherits a una superfície viva o inerta. Les diferents cèl·lules que els conformen es troben unides entre si, formant una matriu extracel·lular autoproduïda. Aquesta matriu té les funcions de concentrar nutrients de l'ambient a l'interior del biofilm, impedir o dificultar la penetració d'antimicrobians, evitar la dessecació i afavorir una correcta adhesió de l'estructura a la superfície (Coughlan *et al.*, 2016). Aquesta matriu actua com a sistema de protecció i està constituïda per substàncies polimèriques extracel·lulars (EPS), entre les quals destaquen les proteïnes, els sucres i l'ADN extracel·lular (Costeron, 1995; Flemming *et al.*, 2016; Ren *et al.*, 2018).

La formació de biofilms inclou diverses etapes: la fase de contacte inicial, dividida en adhesió reversible i irreversible; la fase de formació de microcolònies; la fase de maduració, i la fase de dispersió. En la primera, per tal de formar el biofilm, els microorganismes han de passar de la seva forma planctònica a la sèssil, en la qual podran adherir-se a la superfície inicialment amb caràcter reversible. Seguidament els bacteris comencen a crear adhesions permanents i converteixen la unió en ir-

reversible. Posteriorment, es produeix la formació de microcolònies, que es relaciona amb un elevat creixement de microorganismes, juntament amb la producció d'EPS, la qual cosa genera una matriu extracel·lular que ajuda a enfortir les unions amb la superfície i protegeix davant qualsevol estrès ambiental. La fase de maduració és probablement l'etapa més llarga i estable del procés i en la qual s'acaba de consolidar la matriu. També és la que està més relacionada amb els possibles problemes en entorns agroindustrials, com s'ha descrit anteriorment. Finalment, en la fase de dispersió, a causa de diversos factors interns o externs, les cèl·lules o petits grups de cèl·lules es desprenen de la superfície del biofilm per, així, perpetuar la seva vida en una altra ubicació (Coughlan *et al.*, 2016; González-Rivas *et al.*, 2018; Jiménez, 2019).

Els biofilms poden estar formats per una sola o per múltiples espècies, tot i que en la indústria alimentària solen ser més freqüents els multiespècie (Gutiérrez *et al.*, 2016). Els biofilms multiespècie proporcionen una major resistència als biocides i als canvis ambientals respecte a les comunitats monoespècie (Giaouris *et al.*, 2015). Això es deu a una major complexitat de l'estructura generada i a la composició de la matriu (González-Rivas *et al.*, 2018). Conèixer tant la possible existència de molècules comunes en matrius multiespècie com les pròpies d'una sola espècie permet desenvolupar mètodes específics que detectin l'existència d'aquestes substàncies i, per tant, es pugui correlacionar amb la presència d'aquestes estructures en les superfícies industrials.

L'èxit en l'eliminació dels biofilms depèn fonamentalment de la seva detecció primerenca, ja que, en funció d'aquesta, es prendran les decisions adients per definir els procediments idonis per eliminar-los. Alhora, tant el tipus de procediment a aplicar com el mètode òptim de detecció utilitzat dependran estretament de la composició de la matriu (Coughlan *et al.*, 2016; Ren *et al.*, 2018). Tal com s'observa, totes aquestes intervencions estan estretament interrelacionades.

A continuació, es presenta la taula 1, en què s'exposen les característiques de composició de la matriu de tres microorganismes seleccionats per la seva presència habitual en superfícies industrials i per la seva rellevància pel que fa a innocuïtat (*Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*) i deterioració (*Pseudomonas* spp.) (Navia *et al.*, 2010; Yang-En Tan *et al.*, 2014; Møretrø i Langsrud, 2017). D'aquesta manera, es posa de manifest la variabilitat de les matrius que generen aquests microorganismes i la complexitat en el seu estudi específic.

La distinta naturalesa i varietat en la composició de matrius generades pels microorganismes que conformen els biofilms constitueixen un camp en desenvolupament actiu, la qual cosa fa complexa la comparació de resultats en aquests moments. Per això, mitjançant la taula 1, no es poden extreure conclusions o tendències generalitzables, si bé il·lustra la complexitat i dificultat d'identificar components comuns o específics. No obstant això, seria interessant en un futur aprofundir en els compostos espe-

Taula 1. Composició de la matriu exopolimèrica de *Salmonella* spp., *Pseudomonas* spp. i *Listeria monocytogenes*

MICROORGANISME	PROTEÏNES	POLISACÀRIDS	ALTRES
<i>Salmonella</i> spp.	Fibres amiloides («fibres curli»)ª Adhesines (Fim, Lpf, tipus IV pili, ShdA, MisL, SadA, SiiE y BapA)ᵇ	Cel·lulosa (poli-B-(1→4)-D-glucosa) Àcid colànic (subunitats de D-glucosa, L-fucosa, D-galactosa, i sucres dels àcids de D-glucurònic amb O-acetil i piruvat) Antigen Oᵇ	ADN extracel·lular
<i>Pseudomonas</i> spp.	Di-GMP cíclicᶜ	Algínat Psl Pel Ramnolípids (diramnolípids, monoramnolípids, i àcids alcanòics (HAAs))ᶜ	ADN extracel·lular
<i>Listeria monocytogenes</i>	InlA, BapL, PlcA, FlaA, PBP, ActA, Lmo2504ᵈ,ᵉ	poli-B-(1,4)-N-acetilmanosamina (poly-NAM) Àcids teicoics (WTA i LTA)ᵈ	ADN extracel·lular, Àcids grassos (iso-C14:0, anteiso-C15:0 i iso-C16:0)ᵈ

Nota: a. Choong *et al.*, 2016; b. Maruzani *et al.*, 2019; c. Kim i Lee, 2016; d. Colagiorgi *et al.*, 2016; e. Colagiorgi *et al.*, 2017.

Font: Elaboració pròpia.

cífics trobats per tal de determinar si en la seva estructura química existeixen compostos comuns que puguin esdevenir dianes de detecció.

3. MÈTODES DE MOSTREIG I ANÀLISI DE SUPERFÍCIES

Els microorganismes, incloent-hi els capaços de generar biofilms, es troben en totes les baules de la indústria alimentària, de manera que en moltes ocasions colonitzen llocs de difícil accés per a les accions de neteja i desinfecció, amb la qual cosa garanteixen la seva persistència. És freqüent trobar-los a l'interior d'esquerdes, racons, punts cecs de circuits i juntes, entre altres localitzacions. Aquests constitueixen els punts de control crítics en matèria d'higiene d'instal·lacions.

Els mètodes d'anàlisi de superfícies poden requerir o no una obtenció prèvia de mostra segons que siguin indirectes o directes. Els mètodes de mostreig es basen en procediments establerts per a la recollida i obtenció de les mostres. Els més emprats en la indústria alimentària són la presa de mostra mitjançant esponges, hisops, plaques de contacte i laminocultius, que són de fàcil ús, assequibles i ràpids. Aquests presenten una limitació a l'hora d'examinar superfícies completes, ja que habitualment la mostra es pren en una àrea molt reduïda (Ismaïl *et al.*, 2013). Aquest fet, sumat a la dificultat afegida que genera la presència de biofilms, els quals impedeixen l'extracció adequada dels microorganismes, pot derivar en un recompte o identificació incomplets (González-Rivas *et al.*, 2018). La finalitat de les anàlisis microbiològiques de les superfícies industrials és detectar o quantificar una possible contaminació per tal de comprovar posteriorment que els paràmetres higiènics es mantenen dins dels marges segurs. Les anàlisis de tipus directe proporcionen una base adequada per al desenvolupament de noves metodologies de detecció *in situ*.

4. CLASSIFICACIÓ DELS MÈTODES ANALÍTICS PER DETECTAR O QUANTIFICAR BIOFILMS

Existeix un ampli ventall de mètodes analítics de detecció i quantificació de biofilms vigents, que poden ser classificats des de diferents punts de vista. Per tal de facilitar l'assoliment dels objectius plantejats en aquest treball i amb l'objectiu de discriminar entre els mètodes, s'ha plantejat una classificació (taula 2) basada en els paràmetres escollits següents:

1. Directes/indirectes: segons si requereixen o no una obtenció prèvia de mostra. En els indirectes, s'indica el mètode emprat per a la recollida de mostres.
2. Naturalesa de la mesura: segons si és un mètode òptic, microscòpic, tèrmic, enzimàtic, entre d'altres.
3. Qualitatiu/quantitatiu: si únicament detecten o, addicionalment, quantifiquen els microorganismes presents.
4. «Temps real» / diferit: en funció de si el temps d'espera per obtenir el resultat de l'anàlisi és prou curt per poder prendre accions immediates sobre el procés (a temps real) o no (diferit).

Entre els mètodes destacats, el recompte en placa, la bioluminescència d'ATP i el BioFinder són els més àmpliament utilitzats en la indústria alimentària per la seva simplicitat. Els dos últims es caracteritzen per la seva rapidesa i utilitat en la presa de decisions *in situ*. L'inconvenient de la bioluminescència d'ATP és que no és específica exclusivament per a biofilms, sinó que també detecta la presència de matèria orgànica (Davidson *et al.*, 1999). Tanmateix, el BioFinder tindria una especificitat més elevada en la detecció de biofilms gràcies al seu principi de detecció basat en l'activitat catalasa (Ripolles-Avila *et al.*, 2018). No obstant això, segons aquest darrer estudi, el límit de detecció del mètode se situa al voltant de 10^4 UFC·cm². Per aquest motiu, el desenvolupament de mètodes més sensibles que permetin reduir aquests límits de detecció és d'alt interès.

El cost elevat d'alguns dels dispositius i el llarg temps d'espera per a l'obtenció de resultats de la majoria dels altres mètodes presentats a la taula 2 han impedit implantar-los de manera generalitzada en la indústria alimentària. Tot i així, n'han trobat aplicació en centres d'investigació (Azeredo *et al.*, 2017).

Una presa de decisions encertada i una prevenció àgil requereixen mètodes més específics i amb una resposta ràpida que satisfacin aquestes necessitats de la indústria. Els sensors òptics compleixen aquests requisits, ja que són eines potents per a la mesura en temps real de canvis fisicoquímics. Aquests dispositius presenten diversos avantatges, com ara la capacitat de monitoratge (és a dir, la determinació dinàmica de dades en funció del temps), la versatilitat, la rapidesa, el baix cost, la facilitat d'instal·lació i manteniment, així com el fet de no ser destructius ni invasius, fet que els converteix en eines ideals de control. L'aposta per aquest tipus de metodologia òptica

Taula 2. Classificació de mètodes analítics per detectar o quantificar biofilms

MÈTODE	PARÀMETRES DE CLASSIFICACIÓ			
	DIRECTE (D) / INDIRECTE (I)	NATURALES DE LA MESURA	QUALITATIU/ QUANTITATIU	TEMPS REAL (R) / DIFERIT (D)
Turbidimetria	I ^a	Òptic	Quantitatiu	R
Impedimetria	I ^a	Òptic	Qualitatiu	R
Epifluorescència	D/I	Òptic	Qualitatiu i quantitatiu	R
Fluorescència per hibridació <i>in situ</i> (FISH)	I	Òptic	Qualitatiu	D
Bioluminescència del trifosfat d'adenosina (ATP)	I ^b	Òptic	Quantitatiu	R
Mètodes immunològics (ELISA)	I ^a	Colorimètric (òptic), enzimàtic	Qualitatiu	D
Microscopi electrònic de rastreig	D/I	Imatges microscòpiques generades mitjançant feix d'electrons	Qualitatiu	D
Espectrofotòmetre d'infraroig amb transformada de Fourier	D/I	Òptic	Qualitatiu i quantitatiu	R
Microscòpia confocal làser (CLSM)	D/I	Òptic	Qualitatiu i quantitatiu	R
BioFinderc	D	Enzimàtic-químic	Quantitatiu	R
Biosensors	D	Electroquímic, òptic, piezoelèctric, termomètric	Quantitatiu	R
Recompte en placa	I ^a	Microbiològic	Quantitatiu	D

Nota: a. Hisop, esponja, plaques de contacte o sensors de control d'higiene (SCH); b. només hisop; c. equip comercial.

Font: Elaboració pròpia.

constitueix una via de recerca amb gran potencial, ja que satisfà els requisits necessaris per al control de processos en la indústria alimentària i proporciona una sèrie de beneficis pel que fa a la seva implementació dins de la cadena de producció, al temps d'anàlisi i a la posterior presa de decisions (Castillo, 2010).

5. MÈTODES ÒPTICS I LA SEVA CLASSIFICACIÓ

Els mètodes òptics mesuren les interaccions entre l'energia electromagnètica i la matèria. Un dels paràmetres més habituals per caracteritzar aquesta energia és la longitud d'ona. L'energia electromagnètica emprada per realitzar determinacions òptiques és diversa en funció de la regió de l'espectre seleccionada. L'espectre electromagnètic (figura 1) està constituït pel conjunt de totes les ones electromagnètiques conegudes, classificades atenent la seva longitud d'ona, freqüència, nombre d'ona o energia i formant un espectre continu. Inclou els raigs

gamma, raigs X, la radiació ultraviolada, la llum visible, la radiació infraroja, la de microones i, fins i tot, les ones de radiofreqüència (*Gran enciclopèdia catalana*, 1987; Allison, 2013). Les regions de l'espectre emprades més sovint en l'aplicació de mètodes òptics són la ultraviolada i la visible. La primera, caracteritzada per les seves baixes longituds d'ona, altes freqüències i energia, s'utilitza per excitar les molècules de les mostres subjectes a avaluació. La segona, en canvi, es caracteritza per longituds d'ona més llargues i menor freqüència i energia, i és absorbida, reflectida o transmesa per les mostres un cop excitades. Aquesta última, a més, és la regió utilitzada per a les determinacions de color.

Els mètodes òptics d'anàlisi es poden dissenyar per mesurar la capacitat de diverses matrius tant sòlides com líquides per absorbir energia electromagnètica, per emetre'n quan són excitats per una font d'energia o per dispersar radiació. En aquest context, és possible classificar els mètodes òptics segons el seu caràcter espectroscòpic (Douglas *et al.*, 2008; Ferrusola, 2018):

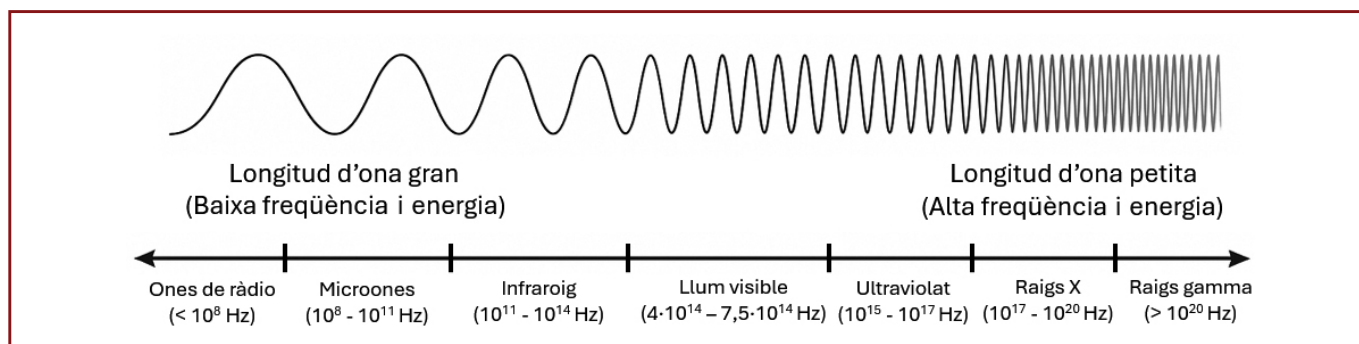


Figura 1. Espectre electromagnètic.

Font: Elaboració pròpia.

1. Espectroscòpics: Són aquells en què existeix un intercanvi d'energia entre la radiació electromagnètica i la matèria mitjançant dos tipus d'interacció.

- a. Absorció
 - i. Nivell molecular: UV visible, infraroig i microones.
 - ii. Nivell atòmic: absorció atòmica i raigs X.
- b. Emissió
 - i. Nivell molecular: luminescència (fluorescència i fosforescència).
 - ii. Nivell atòmic: espectrometria d'emissió, fotometria de flama, plasma d'acoblament inductiu (ICP), fluorescència de raigs X i fluorescència atòmica.

2. No espectroscòpics: En aquests mètodes no hi ha intercanvi d'energia, sinó que es produeixen canvis en la direcció o en les propietats físiques de la radiació electromagnètica. Aquests canvis són:

- a. Dispersió: turbidimetria i nefelometria.
- b. Refracció: refractometria, interferometria.
- c. Difracció: raigs X, electrons.
- d. Rotació òptica: polarimetria, dicromisme circular.

6. MÈTODES POTENCIALMENT APLICABLES A LA INDÚSTRIA ALIMENTÀRIA PER A LA DETECCIÓ DE BIOFILMS *IN SITU*

Després de la cerca bibliogràfica realitzada, no s'ha trobat una taula de classificació dels mètodes de detecció *in situ* existents. Per aquest motiu, a continuació es presenta una proposta de classificació de mètodes potencialment aplicables a la indústria alimentària per a la detecció de biofilms (taula 3). Tal com es pot observar, aquesta classificació s'obté atenent diferents aspectes com ara la recollida de la mostra (*in-line* / *off-line* / *at-line*), la naturalesa de la mesura, si la determinació és en temps real o en diferit, la identificació del sensor o equip, i el principi de detecció.

Per a la realització de la cerca es van emprar una sèrie de paraules clau, que s'especifiquen a continuació:

biofilm detection, biofilm detection methods, biofilm detection methods food industry, biofilm detection optical methods, fluorescence biofilm detection, real time biofilm detection, in situ biofilm detection, biofilm visualization, observation biofilms, biofilm evidence.

Taula 3. Classificació dels mètodes potencialment aplicables per a la detecció de biofilms en la indústria alimentària

MESURA	MECANISME	LECTURA	EQUIP	ANÀLISI
<i>In-line</i>	Ones electromagnètiques	Temps real (<i>in situ</i>)	Xip polimèric (<i>lab-on-a-chip</i>)	Variacions d'absorbància de la llum
			Sensor UV-LED	Fluorescència
			Sensor ETT	Lectura de l'espectre de transmissió
	Ones acústiques	Temps real (<i>in situ</i>)	Sensor SAW	Canvi de freqüència ressonant
<i>At-line</i>	Ones electromagnètiques	Temps real (<i>in situ</i>)	Bactiscan™	Fluorescència
<i>Off-line</i>	Ones electromagnètiques	En diferit	FISH	Fluorescència
			CLSM	Fluorescència

Font: Elaboració pròpia.

La cerca inicial va permetre seleccionar un total de quaranta-vuit articles científics i informació tècnica sobre diversos equips comercials, que es van filtrar segons la naturalesa del mètode de detecció (òptic) i la seva aplicabilitat en la indústria, i se'n van descartar vint-i-dos. Un mètode no òptic es va conservar en aquesta fase preliminar, ja que complia la major part dels requisits plantejats i presentava un gran potencial. En un segon filtratge, centrat en mètodes *in situ* i *in-line*, van quedar seleccionats sis articles científics més un equip comercial. En la taula 3 s'inclouen els set mètodes seleccionats, però només els cinc amb major aplicabilitat per a un ús *in situ*. Juntament amb l'equip comercial, es descriuen en els subapartats 6.1 a 6.5.

6.1. Xip polimèric (*lab-on-a-chip*)

Aquest prototip, proposat per Antúnez (2015), està basat en les variacions d'absorbància de la llum en el rang de longituds d'ona comprès entre 600 i 900 nm. Els seus avantatges principals són: robustesa, simplicitat, alta sensibilitat i baix cost.

El sistema de detecció contínua, amb una alta sensibilitat, consisteix en un xip polimèric de baix cost (*lab-on-a-chip*) per a la detecció selectiva dels biofilms en els primers estadis de la seva formació utilitzant una interfície aigua-biofilm. Per dur a terme les mesures òptiques es va fer servir un espectròmetre de fibra òptica acoblat al xip polimèric, i la mostra s'il·luminava mitjançant una font de llum halògena.

El xip microfluídic és de polimetacrilat de metil estructurat en dues capes. La capa inferior conté els elements òptics, concretament dues guies d'ones, una enfront de l'altra, a una distància de 300 μm . Entre totes dues guies d'ones, el xip presenta un patró micromètric per promoure l'adhesió bacteriana i la posterior formació en el temps de biofilms. La capa superior conté els elements microfluídics, que són un canal fluídic gravat amb làser i la corresponent entrada/sortida fluídica.

El principi de detecció es fonamenta en el mesurament de les variacions de pèrdua d'acoblament entre les dues guies d'ones com a conseqüència de canvis en l'índex de refracció en l'àrea de detecció. En tenir un índex de refracció efectiu més alt que l'aigua, qualsevol capa de biofilm existent que connecti totes dues guies d'ones sense interrupcions redueix l'angle d'obertura del feix de llum procedent de la guia d'ones recta, i així augmenta el nombre de fotons acoblats a la guia d'ones corbada.

La formació de biofilm en l'àrea de detecció (entre ambdues guies d'ones) produeix un gran augment inicial en la magnitud de l'absorbància, a causa dels canvis en l'índex de refracció esmentats, seguit d'una disminució important quan els biofilms cobreixen completament aquesta àrea (àrea de detecció). Associat a aquests canvis d'absorbància es relacionen canvis de resposta espectral del biofilm, que proporcionen un avantatge addicional a la detecció. Aquest comportament teòric, descrit per l'autor, permet la diferenciació entre biofilms i incrustacions salines (la interferència més comuna en el monitoratge de biofilms), ja que els biofilms confinen la llum i en canvi les incrustacions de sal la dispersen. El llindar de detecció es va establir en 40 cèl·lules adherides per μm^2 .

6.2. Sensor UV-LED

Aquest mètode, proposat per Fischer *et al.* (2012), es basa en la detecció de la fluorescència intrínseca del biofilm. Els seus avantatges principals són: baix consum d'energia, baix cost econòmic, alta sensibilitat, resposta ràpida, flexibilitat i robustesa. El disseny es basa en un tub fotomultiplicador que s'utilitza per a la detecció de la llum, un capçal sensor amb una superfície transparent on s'estableix el biofilm, una font de llum i una fibra òptica recol·lectora.

El biofilm format sobre una superfície transparent és retroil·luminat mitjançant un UV-LED d'ona contínua (emissió no polsada a 280 nm amb un angle d'obertura de 120°). La llum de fluorescència emesa pel biofilm es recull i es guia mitjançant 540 fibres òptiques multimode de sílice (diòxid de silici) foses, cadascuna amb un diàmetre de nucli de 185 μm . La longitud d'ona d'excitació es va seleccionar perquè coincidís amb el màxim d'absorció del triptòfan (280 nm).

Aquest sistema de detecció òptica és capaç de monitorar biofilms des de les primeres cèl·lules d'unió (amb un llindar mínim de detecció de 4.000 cèl·lules bacterianes $\cdot \text{cm}^{-2}$) fins a un biofilm complex completament desenvolupat. Fischer *et al.* (2012) plantegen millores i actualitzacions del sensor. Per exemple, es podria implementar fàcilment la detecció multicanal basada en matrius de LED que operen a diferents longituds d'ona d'excitació o mesuraments de fluorescència resolts espectralment mitjançant la integració de diversos microespectròmetres sensibles en els rangs d'emissió corresponents. Tal millora permetria, almenys teòricament, el mesurament simultani de la biomassa i l'activitat cel·lular mitjançant determinació combinada de fluorescència de triptòfan i trifosfat d'adenosina (ATP).

6.3. Sensor endotraqueal (endotraqueal tube sensor, ETT)

El sensor endotraqueal proposat per Kurmoo *et al.* (2020) es basa en la lectura de l'espectre de transmissió (lectura entre 600-1.000 nm) generat per modificacions de l'índex de refracció. Els seus principals avantatges són: robustesa, petita grandària, baix cost econòmic, facilitat de fabricació i capacitat de quantificar la biomassa.

Aquest desenvolupament mèdic proposa un mètode sensible per a la detecció de la colonització microbiana de dispositius en etapes primerenques, per prevenir el desenvolupament d'infeccions greus en pacients intubats. Es va utilitzar un tub endotraqueal (ETT) amb un sensor de fibra òptica incorporat en el seu lumen (figura 2).

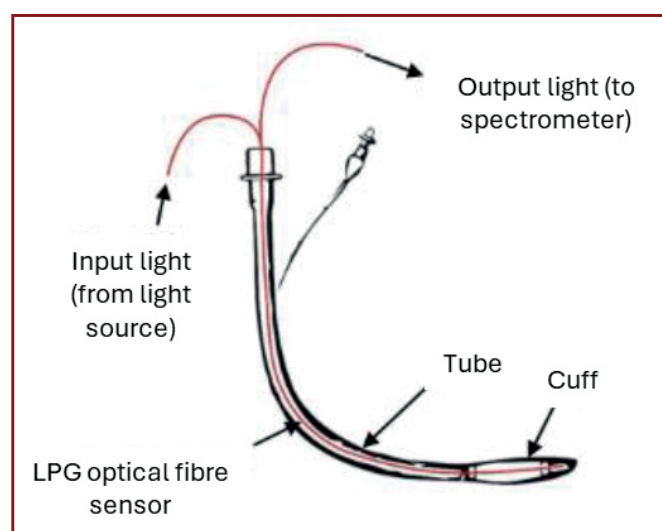


Figura 2. Esquema del sensor ETT.

Font: Kurmoo *et al.*, 2020, amb llicència Creative Commons Reconeixement (CC by 3.0).

Les variacions en l'índex de refracció del medi, com a conseqüència de l'adhesió bacteriana o de la producció d'EPS propers a la superfície del sensor, provoquen canvis de senyal mesurables. Aquests canvis de senyal de l'espectre de transmissió de sortida són recollits per un espectròmetre i enviats a un ordinador. La forta correlació exponencial observada entre la inversa de la biomassa i la resposta espectral va demostrar que el canvi de longitud d'ona (desplaçament dels pics d'atenuació en funció de l'acumulació de biomassa) podria emprar-se com una mesura precisa de la formació de biofilms. Aquesta correlació es va establir a través del monitoratge paral·lel del canvi de longitud d'ona de les bandes d'atenuació (resposta espectral) i la mesura de biomassa amb microscòpia confocal 3D del creixement de *Pseudomonas aeruginosa* (utilitzada com a referència). El sensor té

un límit de detecció de $81 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ i també pot detectar la pèrdua de massa del biofilm, fet que possibilita verificar l'eficàcia dels tractaments d'eliminació aplicats. Aquest mateix principi de mesura podria adaptar-se a entorns alimentaris, col·locant la sonda en superfícies per tal de detectar biofilms tant en la producció d'aliments líquids com sòlids.

6.4. Bactiscan™

Aquest dispositiu, creat per EIT International, es basa en la detecció per fluorescència. Els avantatges principals que presenta són: robustesa, facilitat d'ús, portabilitat i escassa necessitat de capacitat de l'operador.

Bactiscan™ consisteix en una font de llum portàtil que utilitza un feix de llum d'alta intensitat de quatre longituds d'ona combinades que treballa, en alternança, en els marges de l'espectre UV. Les longituds d'ona específiques que il·luminen la mostra fan que uns certs components del biofilm emetin fluorescència de color turquesa o verd. Permet il·luminar una gran superfície i obtenir un resultat immediat, no destructiu, que revelarà la presència (cèl·lules viables i no viables) de biofilms, floridures, bacteris i altres contaminants en una multitud d'àrees de la indústria alimentària, mèdica i veterinària sense necessitat de productes químics o reactius addicionals o consumibles.

Està dissenyat per detectar la capa S o capa superficial de proteïna que embolcalla els bacteris. Aquesta capa està formada per una matriu bidimensional de proteïnes que presenta una estructura cristal·lina. Les anàlisis d'aminoàcids van revelar que les proteïnes de la capa S d'organismes de diferents branques filogenètiques són bastant similars en la seva composició general. Normalment, les proteïnes de la capa S posseeixen un alt contingut d'aminoàcids àcids i hidròfobs (Fagan i Fairweather, 2014). Les longituds d'ona, una vegada fusionades, rebotaran en l'estructura cristal·lina de la proteïna i emetran la inconfusible llum turquesa-verda (Pawlowsky i Perez, 2012; Limburn, 2020). És necessari indicar, però, que els aminoàcids aromàtics fenilalanina, tirosina i triptòfan presenten fluorescència a 284, 302 i 340 nm, respectivament (Ayala, 2018), la qual cosa suggereix que el mecanisme de fluorescència en què es basa la tecnologia és complex.

6.5. Sensor d'ona acústica de superfície (sensor SAW)

Encara que no és un sistema de mesura òptica, el sensor SAW proposat per Kim *et al.* (2012) compleix els altres

requisits de la cerca realitzada (mesura *in situ*, en continu...) i presenta grans qualitats, motiu pel qual s'ha decidit incloure'l en el present treball.

El sensor SAW està basat en el canvi de freqüència ressonant. Els seus principals avantatges són: alta sensibilitat, baix consum energètic, transmissió de dades i possibilitat de càrrega sense fil, és reutilitzable (ecològic), rendible amb plasma d'oxigen) i està construït amb materials biocompatibles.

El sensor desenvolupat permet el monitoratge en temps real de la formació i creixement d'un biofilm mitjançant un model que replica els creixements que tenen lloc en un sèrum animal o un mitjà de creixement. Està constituït per primes capes piezoelèctriques d'òxid de zinc (ZnO) passivades amb una fina pel·lícula biocompatible d'òxid d'alumini (Al₂O₃) per protegir la seva superfície de la corrosió dels líquids i per dos transductors interdigitals (IDT).

La funció principal dels IDT és convertir els senyals elèctrics en ones acústiques de superfície (SAW) i viceversa, mitjançant la generació de forces mecàniques distribuïdes periòdicament a través de l'element piezoelèctric (ZnO). En els estudis a llarg termini com aquest, és necessari invertir la posició del sensor per evitar la corrosió dels metalls dels IDT exposats directament a l'entorn líquid.

El sensor pot detectar canvis en la massa o la viscositat del biofilm a causa de l'atenuació de la velocitat d'ona acústica, que provoca un canvi en la freqüència ressonant. Les freqüències detectades pel sensor IDT s'analitzen en un equip digital i el tractament de dades es fa a través d'un programa informàtic.

La pel·lícula de ZnO utilitzada en aquest sistema genera una velocitat d'ona acústica de $4814 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ i les freqüències d'operació del sensor SAW són de 401 a 406 MHz, dissenyades per complir la regulació establerta per la Comissió Federal de Comunicacions per a futures aplicacions de detecció de biofilms en entorns mèdics.

El límit de detecció obtingut pel sensor va ser d'aproximadament 5,3 pg. Atès que la massa d'un bacteri és

d'aproximadament 1 pg (Davis *et al.*, 1973), aquest límit de detecció confirma l'aplicació del sensor SAW per al monitoratge de biofilms bacterians.

7. CONCLUSIONS

Sobre la base dels estudis científics trobats, s'han observat dues clares tendències: d'una banda, la utilització de sensors de fibra òptica situats en superfícies o a l'interior de conduccions i equips, i, d'una altra banda, la seva detecció en superfícies externes basada en la utilització de dispositius portàtils que en permeten la visualització mitjançant fluorescència. Tots aquests sensors que proporcionen lectures *in situ* i en temps real són candidats idonis per monitorar de manera automàtica i comprovar que els protocols de neteja i desinfecció tant aplicats a superfícies com en equips dotats de CIP (*Cleaning In Place*) han estat efectius en l'eliminació de biofilms i, en cas contrari, permeten que la presa de decisions correctores sigui ràpida.

Tenint en compte que tots aquests mètodes tenen o poden tenir aplicabilitat en la indústria alimentària, la millor opció per tenir sota control la problemàtica dels biofilms en una empresa seria combinar l'ús d'almenys dos mètodes: un de fix, basat en sensors que permeti el monitoratge de l'interior d'una canonada o qualsevol element de difícil inspecció, i un altre de portàtil, que permetés analitzar de manera ràpida totes les superfícies d'interès. Aquest últim podria ser BactiscanTM, ja que amb ell es pot inspeccionar grans àrees i nombrosos equips de producció. No obstant això, com que no està dissenyat per integrar-lo en sistemes automàtics de control, el seu ús i interpretació requereixen personal tècnic.

Com a exemple de sensor fix es triaria una adaptació del sensor ETT, ja que, a banda de tenir la capacitat de detectar els primers estadis de la colonització de biofilms, pot monitorar i quantificar tant el seu creixement com la seva pèrdua. A l'hora de decidir cap on enfocar el disseny d'un nou mètode «ideal» a partir de la informació recopilada, els mètodes basats en sensors de fibra òptica per fluorescència podrien ser els més atractius, ja que amb ells s'obre un ampli camp de recerca no sols cap a la detecció de biofilms, sinó cap a la identificació de les espècies que el conformen mitjançant la caracterització de fluoròfors presents en la paret cel·lular i matriu exopolimèrica, de manera que, utilitzant diferents longituds d'ona, es poguessin identificar les diferents espècies bacterianes.

«El sensor SAW està basat en el canvi de freqüència ressonant.»

REFERÈNCIES

- ALLISON, R. R. (2013). «The electromagnetic spectrum: current and future applications in oncology». *Future Oncology* [en línia], 9 (5), p. 657-667. <https://doi.org/10.2217/fon.13.12>.
- ANTÚNEZ, B. (2015). *Early detection of biofilms using low-cost polymeric optical lab-on-a-chip*. Tesi de màster. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/78457> [Consulta: 15 abril 2025].
- AYALA, O. (2018). *Application of native fluorescence tracers for quick evaluation of thermal damage in milk*. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- AZEREDO, J.; AZEVEDO, N. F.; BRIANDET, R.; CERCA, N.; COENYE, T.; COSTA, A. R.; STERNBERG, C. (2017). «Critical review on biofilm methods». *Critical Reviews in Microbiology* [en línia], 43 (3), p. 313-351. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2016.1208146>.
- CASTILLO, M. (2010). «Incorporación de sensores ópticos al procesamiento de alimentos». A: AUCEJO, S.; CASTILLO, M.; DARNE, J. M.; ESCRIBU, R.; GALET, A.; GUAMIS, B.; RODRÍGUEZ, O.; TORRES, D. V. *Tecnologías transversales de interés para las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética*. Madrid: International Marketing & Communication, SA, p. 89-107.
- CHOONG, F. X.; BÄCK, M.; FAHLÉN, S.; JOHANSSON, L. B.; MELICAN, K.; RHEN, M.; NILSSON, K.; RICHTER-DAHLFORS, A. (2016). «Real-time optotracing of curli and cellulose in live *Salmonella* biofilms using luminescent oligothiophenes». *NPJ Biofilms and Microbiomes* [en línia], 2, 16024. <https://doi.org/10.1038/npjbiofilms.2016.24>.
- COLAGIORGI, A.; BRUINI, I.; DI CICCIO, P. A.; ZANARDI, E.; GHIDINI, S.; IANIERI, A. (2017). «*Listeria monocytogenes* biofilms in the wonderland of food industry». *Pathogens* [en línia], 6 (3), 41. <https://doi.org/10.3390/pathogens6030041>.
- COLAGIORGI, A.; DI CICCIO, P. A.; ZANARDI, E.; GHIDINI, S.; IANIERI, A. (2016). «A look inside the *Listeria monocytogenes* biofilms extracellular matrix». *Microorganisms* [en línia], 4 (3), 22. <https://doi.org/10.3390/microorganisms4030022>.
- COSTERTON, J. W. (1995). «Overview of microbial biofilms». *Journal of Industrial Microbiology* [en línia], 15 (3), p. 137-140. <https://doi.org/10.1007/BF01569816>.
- COUGHLAN, L. M.; COTTER, P. D.; HILL, C.; ÁLVAREZ-ORDÓÑEZ, A. (2016). «New weapons to fight old enemies: novel strategies for the (Bio)control of bacterial biofilms in the food industry». *Frontiers in Microbiology* [en línia], 7, 1641. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01641>.
- DAVIDSON, C. A.; GRIFFITH, C. J.; PETERES, A. C.; FIELDING, L. M. (1999). «Evaluation of two methods for monitoring surface cleanliness-ATP bioluminescence and traditional hygiene swabbing». *Luminescence* [en línia], 14, p. 33-38. <https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-7243(199901/02)14:1<33::AID-BIO514>3.0.CO;2-I>.
- DAVIS, B. D.; DULBECCO, R.; EISEN, N.; GINSBERG, H. S. (1973). *Bacterial physiology: microbiology*. 2a ed. Maryland: Harper and Row, p. 96-97.
- DOUGLAS, A.; JAMES, F.; STANLEY, R. (2008). *Principios de análisis instrumental*. 6a ed. Mèxic: Cengage Learning, p. 1001.
- FAGAN, R. P.; FAIRWEATHER, N. F. (2014). «Biogenesis and functions of bacterial S-layers». *Nature Reviews: Microbiology* [en línia], 12 (3), p. 211-222. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3213>.
- FERRUSOLA, E. (2018). *Aplicación de métodos ópticos para la determinación de los parámetros de calidad de la carne*. Treball de final de grau. Universitat Autònoma de Barcelona.
- FISCHER, M.; WAHL, M.; FRIEDRICH, G. (2012). «Design and field application of a UV-LED based optical fiber biofilm sensor». *Biosensors and Bioelectronics* [en línia], 33 (1), p. 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2011.12.048>.
- FLEMMING, H. C.; WINGENDER, J.; SZEZYK, U.; STEINBERG, P.; RICE, S. A.; KJELLEBERG, S. (2016). «Biofilms: an emergent form of bacterial life». *Nature Reviews: Microbiology*, 14 (9), p. 563-575. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.94>.
- GIAOURIS, E.; HEIR, E.; DESVAUX, M.; HEBRAUD, M.; MØRETRO, T.; LANGSRUD, S.; DOULGERAKI, A.; NYCHAS, G.-J.; KACANOVA, M.; CZACZYK, K.; OLMEZ, H.; SIMOES, M. (2015). «Intra- and inter-species interactions within biofilms of important foodborne bacterial pathogens». *Frontiers Microbiology* [en línia], 6, 841. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00841>.
- GONZÁLEZ-RIVAS, F.; RÍPOLLES-AVILA, C.; FONTECHA-UMAÑA, F.; RÍOS-CASTILLO, A. G.; RODRÍGUEZ-JEREZ, J. J. (2018). «Biofilms in the spotlight: Detection, quantification, and removal methods». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [en línia], 17 (5), p. 1261-1276. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12378>.
- GRAN ENCICLOPÈDIA CATALANA. (1987). «Espectre electromagnètic» [en línia]. <https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0153201.xml> [Consulta: 15 abril 2025].
- GUTIÉRREZ, D.; HIDALGO-CANTABRANA, C.; RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA, P.; RUAS-MADIEDO, P. (2016). «Monitoring in real time the formation and removal of biofilms from clinical related pathogens using an impedance-based technology». *PloS one* [en línia], 11 (10), e0163966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163966>.
- ISMAIL, R.; AVIAT, F.; MICHEL, V.; BAYON, I. le; GAY-PERRET, P.; KUTNIK, M.; FÉDÉRIGHI, M. (2013). «Methods for recovering microorganisms from solid surfaces used in the food industry: A review of the literature». *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en línia], 10 (11), p. 6169-6183. <https://www.mdpi.com/1660-4601/10/11/6169#>.
- JIMÉNEZ, M. (2019). *Biofilms, microorganismos alterantes y deterioro de productos cárnicos*. Treball de final de grau. Universitat Autònoma de Barcelona.
- KIM, S. K.; LEE, J. H. (2016). «Biofilm dispersion in *Pseudomonas aeruginosa*». *Journal of Microbiology* [en línia], 54, p. 71-85. <https://doi.org/10.1007/s12275-016-5528-7>.
- KIM, Y. W.; SARDARI, S. E.; MEYER, M. T.; ILIADIS, A. A.; WU, H. C.; BENTLEY, W. E.; GHOSI, R. (2012). «An ALD aluminum oxide passivated surface acoustic wave sensor for early biofilm detection». *Sensors and Actuators B* [en línia], 163, p. 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.01.021>.
- KURMOO, Y.; HOOK, A. L.; HARVEY, D.; DUBERN, J.-F.; WILLIAMS, P.; MORGAN, S. P.; ALEXANDER, M. R. (2020). «Real time monitoring of biofilm formation on coated medical devices for the reduction and interception of bacterial infections». *Biomaterial Science* [en línia], 8, 1464. <https://doi.org/10.1039/c9bm00875f>.
- LIMBURN, R. (2020). *Assessment of Bactiscan instrument for detection of food industry biofilms* [en línia]. Campden BRI: Food and Drink Innovation. <https://www.eit-international.com/wp-content/uploads/2021/01/Bactiscan-Validation-CampdenBRI-FN.1120.pdf> [Consulta: 15 abril 2025].
- MARUZANI, R.; SUTTON, G.; NOCERINO, P.; MARVASI, M. (2019). «Exopolymeric substances (EPS) from *Salmonella enterica*: Polymers, proteins and their interactions with plants and abiotic surfaces». *Journal of Microbiology* [en línia], 57, p. 1-8. <https://doi.org/10.1007/s12275-019-8353-y>.
- MØRETRO, T.; LANGSRUD, S. (2017). «Residential bacteria on surfaces in the food industry and their implications for food safety and quality». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [en línia], 16 (5), p. 1022-1041. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12283>.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) (2013). *Imagine the universe* [en línia]. <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html> [Consulta: 15 abril 2025].
- NAVIA, D. P.; SAMUEL VILLADA, H.; MOSQUERA, S. A. (2010). «Las biopelículas en la industria de alimentos». *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línia], 8 (2), p. 118-128. <https://revistas.unica.edu.co/index.php/bioteconologia/article/view/740/367> [Consulta: 15 abril 2025].
- PAWLOWSKY, K.; PEREZ, B. (2012). *Assessment of a novel biofilm detection device* [en línia]. Campden BRI: Food and Drink Innovation. <https://www.eit-international.com/wp-content/uploads/2020/06/Campden-BRI-Assessment-2012.pdf> [Consulta: 15 abril 2025].
- PIERA, G. (2003). *Estudio del biofilm: Formación y consecuencias* [en línia]. Treball de final de grau. Escola de Prevenció i Seguretat Integral. <http://www.adiveter.com/ftp_public/A1070308.pdf> [Consulta: 15 abril 2025].
- REN, Y.; WANG, C.; CHEN, Z.; ALLAN, E.; MEI, H. C. van der; BUSSCHER, H. J. (2018). «Emergent heterogeneous microenvironments in biofilms: Substratum surface heterogeneity and bacterial adhesion force-sensing». *FEMS Mi-*

crobiology Reviews [en línia], 42 (3), p. 259-272. <<https://doi.org/10.1093/femsre/fuy001>>.

RIPOLLES-AVILA, C.; HASCOËT, A. S.; MARTÍNEZ-SUÁREZ, J. V.; CAPITA, R.; RODRÍGUEZ-JEREZ, J. J. (2019). «Evaluation of the microbiological contamination of food processing environments through implementing surface sensors in an iberian pork processing plant: An approach towards the control of *Listeria monocytogenes*». *Food Control* [en línia], 99, p. 40-47. <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.013>>.

RIPOLLES-AVILA, C.; MARTÍNEZ-GARCIA, M.; CAPELLAS, M.; YUSTE, J.; FUNG, D. Y. C.; RODRÍGUEZ-JEREZ, J. J. (2020). «From hazard analysis to risk control using rapid methods in microbiology: A practical approach for the food industry». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [en línia], 19 (4), p. 1877-1907. <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12592>>.

RIPOLLES-AVILA, C.; RÍOS-CASTILLO, A. G.; RODRÍGUEZ-JEREZ, J. J. (2018). «Development of a peroxide biotector for a direct detection of biofilms produced by catalase-positive bacteria on food-contact surfaces». *CYTA - Jour-*

nal of Food [en línia], 16 (1), p. 506-515. <<https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1418434>>.

RØDER, H. L.; SØRENSEN, S. J.; BURMØLLE, M. (2016). «Studying bacterial multispecies biofilms: Where to start?». *Trends in Microbiology* [en línia], 24 (6), p. 503-513. <<https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.02.019>>.

SREY, S.; JAHID, I. K.; HA, S. D. (2013). «Biofilm formation in food industries: A food safety concern». *Food Control* [en línia], 31 (2), p. 572-585. <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.12.001>>.

TÉLLEZ, S. (2010). «Los biofilms y su repercusión en la industria alimentaria». *VISAVET Divulgación*. <<https://www.visavet.es/es/articulos/biofilms-repercusion-industria-alimentaria.php>> [Consulta: 15 abril 2025].

YANG-EN TAN, S.; CHUEN CHEW, S.; YANG-YI TAN, S.; GIVSKOV, M.; YANG, L. (2014). «Emerging frontiers in detection and control of bacterial biofilms». *Current Opinion in Biotechnology* [en línia], 26, p. 1-6. <<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.08.002>>.

Regió Mundial de la Gastronomia 2025: cuina catalana amb arrels i futur

World Region of Gastronomy 2025: Catalan cuisine with roots and a future

MONTSERRAT RIVERO I URGELL,^{1,2,3} PERE CASTELLS ESQUÉ,^{1,4} CLAUDI MANS I TEIXIDÓ,^{1,5} EULÀLIA VIDAL GARCIA^{1,6}
I ORIOL COMAS BASTÉ^{1,7}

¹ Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació

² Centre d'Estudis del Banc dels Aliments Catalans

³ Acadèmies de farmàcia de Catalunya i Iberoamericana

⁴ Fundació Science and Cooking World Congress

⁵ Catedràtic emèrit d'enginyeria química de la Universitat de Barcelona

⁶ Facultat de Ciències de la Salut Blanquerna, Universitat Ramon Llull

⁷ Campus de l'Alimentació de la Universitat de Barcelona

RESUM: Catalunya ha estat designada Regió Mundial de la Gastronomia 2025 i s'ha convertit en la primera regió europea amb aquesta distinció. Aquesta capitalitat ofereix una oportunitat per projectar internacionalment la cuina catalana i enfortir el vincle entre alimentació, salut, cultura i territori. L'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació (ACCA) hi participa activament, impulsant iniciatives com la jornada de la Nit de l'Alimentació, activitats divulgatives i un vídeo gastronòmic protagonitzat pel xef Víctor Quintillà.

La cuina catalana es presenta com a patrimoni viu, amb arrels medievals, com evidencien receptaris com el *Llibre de Sent Soví*, i una evolució que culmina en una revolució gastronòmica contemporània iniciada a El Bulli, basada en la col·laboració entre cuiners, científics i dissenyadors. Aquest moviment ha posicionat Catalunya com un referent internacional en innovació culinària.

La relació entre cuina i ciència s'exemplifica a través de múltiples disciplines, des de la química fins al màrqueting. Paral·lelament, es reivindica la cuina catalana tradicional com a model d'alimentació saludable i sostenible, arrelada al territori, amb ingredients locals, plats equilibrats i tècniques culinàries que promouen la nutrició, la sobirania alimentària i el respecte pel medi ambient.

ABSTRACT: *Catalonia has been designated the World Region of Gastronomy 2025, becoming the first European region to receive this distinction. This recognition offers an opportunity to promote Catalan cuisine internationally and to strengthen the link between food, health, culture and territory. The Catalan Association of Food Science (ACCA, from the Catalan) is actively involved in this endeavour, promoting initiatives such as the Nit de l'Alimentació (Food Night) event, outreach activities and a gastronomic video featuring chef Víctor Quintillà.*

*Catalan cuisine is presented as a living heritage, with medieval roots exemplified by recipe books like *Llibre de Sent Soví*, and an evolution culminating in a contemporary gastronomic revolution initiated at El Bulli, based on collaboration between chefs, scientists and designers. This movement has positioned Catalonia as an international benchmark in culinary innovation.*

The relationship between cuisine and science is illustrated across multiple disciplines, from chemistry to marketing. At the same time, traditional Catalan cuisine is celebrated as a model of healthy and sustainable eating, rooted in the territory, featuring local ingredients, balanced dishes and cooking techniques that promote nutrition, food sovereignty and environmental respect.

PARAULES CLAU: gastronomia, Catalunya, innovació, sostenibilitat, ciència.

KEYWORDS: *gastronomy, Catalonia, innovation, sustainability, science.*

UNA OPORTUNITAT PER FER VALER LA GASTRONOMIA CATALANA

Enguany Catalunya ha rebut la distinció de Regió Mundial de la Gastronomia (fig. 1), i així s'ha convertit en la primera regió europea a obtenir aquest reconeixement.

L'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació (ACCA), filial de l'Institut d'Estudis Catalans, s'hi ha adherit com a entitat col·laboradora, amb l'objectiu de dur a terme activitats pròpies que contribueixin a commemorar i divulgar aquesta distinció arreu del territori.

Des dels seus inicis, l'ACCA ha comptat amb membres fundadors i socis destacats en l'àmbit de l'alimentació, pioners al nostre país des de fa més de quaranta anys en educació alimentària, nutricional i dietètica. Han dut a terme iniciatives tant per a la població general com en entorns escolars, mitjançant tallers formatius adreçats als més joves.

L'entitat agrupa professionals de diverses disciplines, entre els quals destaquen farmacèutics que, per iniciativa pròpia, van impulsar campanyes de salut pública fa més de vint-i-cinc anys, centrades en l'alimentació. Aquestes accions comprenien des dels components nutricionals fins als processos culinaris i criteris per escollir aliments saludables. Més de quatre-cents farmacèutics catalans —d'un total de tres mil a tot l'Estat— hi van participar voluntàriament, coordinats pels col·legis de farmacèutics catalans i sota el lideratge del Consejo General, i van arribar a una part molt àmplia de la població per fomentar hàbits alimentaris saludables.

Fa vint anys, diversos científics membres de l'ACCA també van participar en el programa EXPER(i)ENCE, impulsat per la Federació Catalana per a la Recerca i la In-

novació, amb l'objectiu d'acostar la ciència als infants sota el lema «La ciència vista pels nens». A través de visites escolars, es tractaven temes d'alimentació, dietes i cuina, àmbits aleshores absents del currículum acadèmic. Catalunya, juntament amb altres regions d'Àustria, Bèlgica, França, Alemanya, Itàlia, Irlanda i Polònia, va formar part d'aquest estudi europeu, que feia un recorregut complet des dels camps fins a la taula, tot reflexionant sobre la relació entre aliments i salut.

Des de la seva fundació, l'ACCA ha tingut com a eix central la promoció de la cuina catalana i la dieta mediterrània com a motors essencials per a la salut de la població.

Actualment, Catalunya viu un moment excepcional en l'àmbit gastronòmic. Tal com va remarcar el president de la Generalitat, Salvador Illa, durant l'acte oficial de presentació de la capitalitat gastronòmica, aquesta distinció és una gran oportunitat per projectar internacionalment el nostre ric patrimoni gastronòmic. El sector agroalimentari català, en totes les seves fases i professions, hi va ser àmpliament representat.

Cal destacar que tres dels millors restaurants del món es troben actualment a Catalunya, resultat del talent innovador i de l'esforç sostingut del sector. Com va expressar el mateix president Illa, «la nostra cuina és història, identitat, cultura, salut, solidaritat i futur. Una manera de viure i de ser».

L'aposta de les administracions per fer de Catalunya un referent mundial de la gastronomia és clara i decidida, amb un programa amb més de cinquanta actuacions i un



pressupost de quinze milions d'euros, que convida a la participació conjunta de la ciutadania i dels professionals del sector agroalimentari.

La diversitat territorial i la riquesa de productes alimentaris i cuines locals, adaptades al pas de les estacions, ens permeten impulsar la sostenibilitat alimentària, reforçant el vincle entre la terra, la cultura i la taula catalana.

Una iniciativa destacada en aquest marc ha estat la campanya «**12 mesos, 12 paisatges**», impulsada per la Direcció General d'Empreses Agroalimentàries, Qualitat i Gastronomia, del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural, amb l'objectiu de donar a conèixer i preservar les tradicions gastronòmiques locals, posant en relleu la temporalitat i l'origen dels aliments.

L'ACCA hi ha participat activament amb el lema «**Del plat al camp**», escollint el Maresme com a territori, el març com a mes i el pèsol com a ingredient representatiu. L'objectiu ha estat promoure la sostenibilitat alimentària a partir de la connexió entre territori, cultura alimentària i gastronomia local.

Es van impulsar tres actuacions principals:

- **Una jornada ACCA**, incloent-hi la **Nit de l'Alimentació**, celebrada el mes de març per commemorar la capitalitat gastronòmica de Catalunya, amb conferències i un tast gastronòmic obert a tots els socis (fig. 2).
- **Un vídeo divulgatiu**, realitzat conjuntament amb el xef **Víctor Quintillà**, del restaurant **Lluerna** (estrella Michelin). En aquest vídeo, breu i dinàmic, aco-

panyem el xef al camp a recollir pèsols, amb l'ajuda de pagesos locals, i posteriorment el veiem preparar una recepta innovadora i accessible per fer a casa (<https://iecobert.iec.cat/results/02afea50-4f95-403a-906b-e6d3297d1eb1/9d7b7d48-1436-4c03-9322-3e8aa8b67dcd>).

- **Aquest article a la revista TECA**, que recull l'esperit de l'esdeveniment i les accions impulsades arreu del territori, amb la voluntat que siguin l'inici de moltes més iniciatives per fer valer la diversitat alimentària i territorial de Catalunya.

La Jornada ACCA va tenir lloc el dimarts 25 de març de 2025 i va reunir un centenar d'assistents en un programa íntegrament centrat en la gastronomia. L'acte va ser presidit pel senyor Joan Godia Tresánchez, director general d'Empreses Agroalimentàries, Qualitat i Gastronomia.

LA CUINA CATALANA A TRAVÉS DEL TEMPS: PATRIMONI, EVOLUCIÓ I IDENTITAT

Un dels moments destacats de la jornada va ser la intervenció del **doctor Antoni Riera i Melis**, catedràtic emèrit d'història medieval de la Universitat de Barcelona i membre de l'Institut d'Estudis Catalans, que va presentar el *Llibre de Sent Soví* (1324), un receptari medieval en català d'autor anònim. Publicat per primera vegada el 1952, és una font fonamental per entendre la història de l'alimentació a Europa durant l'edat mitjana i l'origen de les gastronomies catalana i valenciana.



Figura 2. Assistents a la Nit de l'Alimentació.
Font: Fotografia personal de Montserrat Rivero i Urgell.

El doctor Riera i Melis va destacar com el prestigi internacional de la cuina catalana es va consolidar amb la conquesta de Nàpols i l'elecció pontifícia d'Alfons de Borja, fet que va contribuir a la introducció de l'alta cuina catalana a Itàlia. Va fer un recorregut per diversos receptaris històrics, com el *Liber de coquina*, del mestre Martino, els elogis de Bartolomeo Sacchi a *De honesta voluptate*, i el *Llibre del coch*, del mestre Rupert de Nola, amb les seves traduccions al castellà. Va concloure que la cuina catalana té una llarga i sòlida trajectòria històrica, reflectida en un ampli corpus de receptaris.

LA REVOLUCIÓ GASTRONÒMICA CATALANA: INNOVACIÓ AMB ARRELS

A continuació, **Pere Castells Esqué**, president del Science and Cooking World Congress, va parlar sobre la irrupció de la cuina catalana com a referent mundial al segle XXI. Va explicar que ningú no pot posar en dubte la capitalitat de Catalunya en la revolució gastronòmica que s'ha produït en els darrers anys a escala internacional.

És un atreviment agosarat, però, per tal de buscar símls comparatius, Castells proposa el paral·lisme entre el Modernisme català i la revolució culinària com a via per entendre l'origen i la consolidació d'aquest lideratge.

El Modernisme fou un moviment general sorgit a tot Europa —especialment a França, amb l'Art Nouveau— i que a Catalunya, en particular a Barcelona, va adquirir una personalitat pròpia i diferenciada. Es va desenvolupar al llarg d'unes tres dècades aproximadament, entre 1885 i 1920. Es caracteritzà per la seva transversalitat disciplinària: arquitectura, pintura, escultura, disseny, orfebreria, entre d'altres. L'èxit del moviment es deu als grans noms que s'hi van vincular:

- Arquitectes: Antoni Gaudí i Cornet, Lluís Domènech i Montaner, Josep Puig i Cadafalch.
- Pintors: Hermenegild Anglada i Camarasa, Ramon Casas i Carbó, Isidre Nonell i Monturiol.
- Escultors: Josep Clarà i Ayats, Josep Llimona i Bru-guera.
- Orfebre: Lluís Masriera i Rosés.

La revolució gastronòmica, per la seva banda, és un corrent innovador que s'inicia a França amb la *nouvelle cuisine* (1970-1990). La gran revolució, però, sorgeix a cala Montjoi (restaurant El Bulli, Catalunya), on adquireix una personalitat pròpia i diferenciada. Es desenvolupa també al llarg de tres dècades aproximadament, entre 1994 i 2024.

Es caracteritza per la seva multidisciplinarietat i per les col·laboracions amb científics, dissenyadors, artistes, divulgadors, arquitectes, nutricionistes i professionals de camps diversos, com ara:

- Tecnologia dels aliments: Íngrid Farré.
- Disseny: Luki Huber, Olga Subirós.
- Botànica: Evarist March.
- Química: Claudi Mans, Pere Castells.
- Arquitectura: Oliver Franz.
- Nutrició: Abel Mariné.

L'èxit d'aquest moviment s'explica també pels professionals que l'han liderat:

- Cuiners: Ferran Adrià, els germans Roca, Carme Ruscalleda, Fina Puigdevall, Santi Santamaria, Carles Tejedor, Nandu Jubany, Carles Gaig, Paco Pérez, entre d'altres.
- Pastissers i xocolaters: Enric Rovira, Ramon Morató, Josep M. Ribé.

El moviment es va expandir arreu de l'Estat i internacionalment: Heston Blumenthal, Andoni Luis Aduriz, Quique Dacosta, Wylie Dufresne, René Redzepi, Massimo Bottura, etc. Tot i així, **Catalunya es manté com a centre de referència mundial**.

Aquesta revolució, liderada per Ferran Adrià des del restaurant El Bulli, pot fixar-se simbòlicament en un moment fundacional: l'elaboració de la **minestra de verdures en textures**, l'any 1994. Posteriorment, l'aparició d'Adrià a la portada del *New York Times* (2003) i de *Le Monde* (2004) va acabar de segellar aquesta revolució.

Des del punt de vista del diàleg entre **ciència i cuina**, hi ha diferents moments clau:

- Creació del Departament Científic del Bulli (2003).



Figura 3. Signants del manifest.

Font: Ivo Rovira i Ana Ponce. Propietat de la Fundació Science and Cooking World Congress.

- Creació de l'equip de recerca del Cellar de Can Roca (2004).
- Posada en marxa de la Fundació Alícia (2004).
- Publicació del *Lèxic científic gastronòmic* (2006).
- Exposició «Cuinar ciència» al Centre d'Art Santa Mònica de Barcelona (2010).
- Inici del curs Ciència i Cuina a Harvard, amb participació de molts cuiners catalans (2010, encara en actiu).

I, quan semblava que aquesta revolució arribava al final, es va produir un fet inesperat. Potser com a resposta al desig que el món gastronòmic continués mirant cap a Catalunya com a referent, es va crear —en el marc del III Congrés Català de la Cuina— el Science and Cooking World Congress, l'any 2019. Un dels grans encerts d'aquesta iniciativa fou la redacció del manifest *Gastronomia científica Barcelona 2019* (fig. 3), en què es marquen objectius perquè la gastronomia esdevingui una disciplina pròpia, amb entitat per si mateixa, diferenciada de les ciències amb què es relaciona (química, física, biologia, història, arquitectura, nutrició, disseny, medicina, etc.). Amb el suport d'entitats d'arreu del món, la Generalitat de Catalunya, l'Ajuntament de Barcelona i, com no podia ser d'una altra manera, l'ACCA, aquest congrés ha arribat el 2025 a la sisena edició. I es manté com un dels grans objectius estratègics: que Catalunya

continui sent el lloc de referència internacional en innovació i coneixement gastronòmic.

QUAN LA CIÈNCIA ENTRA A LA CUINA: LES SET CIÈNCIES A LA CUINA

La jornada va continuar amb la conferència del catedràtic emèrit d'enginyeria química de la Universitat de Barcelona **doctor Claudi Mans i Teixidó**, que va destacar **les set ciències a la cuina**.

Aquesta comunicació va ser un encàrrec per parlar de la relació entre ciència i cuina. Un tema tan vast no es pot abordar en quinze minuts, i per això l'autor es va limitar a posar alguns exemples de les diverses ciències que envolten el món gastronòmic. Els exemples no estan ordenats per importància ni són necessàriament els més representatius. Tot plegat va voler tenir un aire de *divertimento*.

- **Química.** Bona part dels processos culinaris tenen a veure amb la química. Per citar-ne un, les reaccions de Maillard, que transformen el color, el sabor, l'olor i la textura dels aliments i, malauradament, també poden provocar la formació d'acrilàmida.
- **Física.** Es pot calcular el temps que cal per fer un ou dur? Hi ha equacions que ho permeten fer. I si es vol

fer al cim de l'Everest? També es pot calcular. Es va presentar el diagrama de fases de les operacions culinàries (fig. 4), que resumeix moltes d'aquestes operacions basant-se en el diagrama de fases de l'aigua.

- **Biologia.** L'autor es va centrar en l'entomofàgia i en les espècies que s'estan començant a aprovar i comercialitzar: larves del cuc de la farina, llagosta migratòria, grill domèstic i larves de l'escarabat dels fems.
- **Geologia.** Es va criticar amb força la publicitat de l'aigua de mar alimentària, que afirma contenir 78 elements, així com la de la sal de l'Himàlaia, que encara la supera, amb 88 elements —més dels que hi ha a la natura.
- **Matemàtiques.** Es va comentar l'esquema de càlcul dels punts del sistema d'avaluació nutricional Nutriscore, que es basa en operacions aritmètiques simples però molt discutides per les empreses agroalimentàries.
- **Ciències sensorials i hàptiques.** A través de l'exemple de la sopa, que pot ser salada o no, i satisfactòria o no, es va reflexionar sobre l'objectivitat dels valors mesurables davant la subjectivitat de la sensació i la satisfacció que genera. Es va distingir entre anàlisi descriptiva, anàlisi discriminativa i tests hedònics.
- **Màrqueting.** Es va destacar la importància creixent dels noms de les preparacions gastronòmiques. L'autor va posar com a exemple un plat tradicional de la seva família, que ara rep el nom de desconstrucció i reconstrucció nadalenca de l'amanida russa.

LA GASTRONOMIA CATALANA: UN MODEL D'ALIMENTACIÓ SALUDABLE I SOSTENIBLE

La **importància de potenciar la gastronomia catalana com a model d'alimentació saludable i sostenible** va ser comentada per la **doctora Eulàlia Vidal Garcia**, professora de la Universitat Ramon Llull. Vidal va destacar que una alimentació saludable és aquella que aporta un valor nutricional òptim per cobrir les necessitats d'una persona i que, alhora, és segura, assequible i sostenible.

Tot i que hi ha moltes opcions d'alimentació saludable, una de les més conegudes és la dieta mediterrània, basada en el consum majoritari d'aliments d'origen vegetal, frescos i mínimament processats, com fruites i verdures de temporada, llegums, fruita seca, cereals integrals, oli d'oliva verge extra i, en menor quantitat i freqüència, làctics (preferentment fermentats), peix, carns (preferentment blanques i magres) i ous.

Segons l'Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura (FAO), una alimentació sostenible és aquella amb un impacte ambiental baix que contribueix a la seguretat alimentària i sanitària i a una vida saludable per a les generacions presents i futures. Per ser sostenible, a banda de respectar i protegir la biodiversitat i els ecosistemes i optimitzar els recursos naturals i humans, ha de ser adequada des del punt de vista nutricional, segura, saludable, culturalment acceptable, accessible, justa i assequible econòmicament.

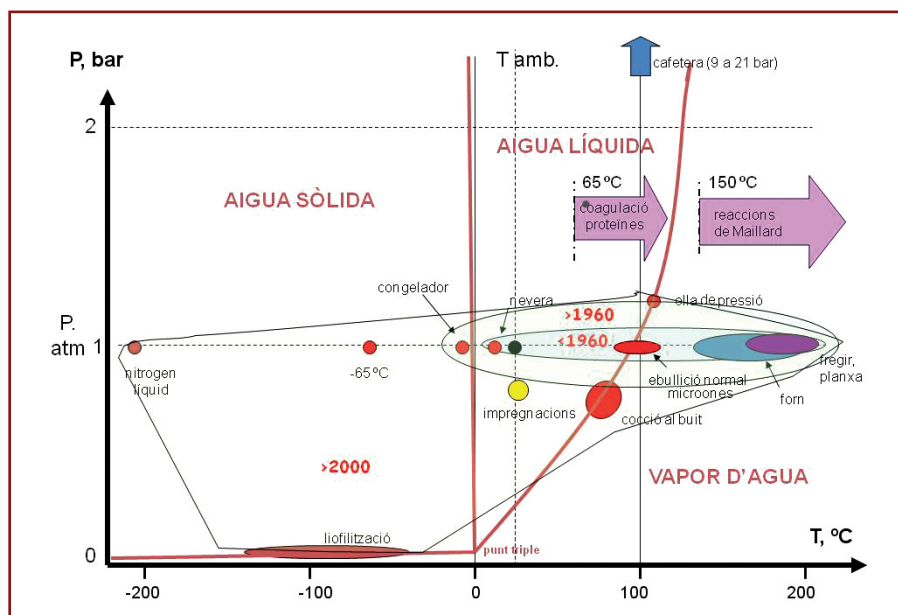


Figura 4. Diagrama de fases de les operacions culinàries.
Font: Claudi Mans i Teixidó.

La gastronomia és una disciplina que estudia les relacions de l'ésser humà amb la seva manera d'alimentar-se i el seu entorn cultural, i la seva història es remunta a l'antiguitat clàssica, amb els primers receptaris basats en productes procedents de diferents continents i, posteriorment, influenciats per la cuina bizantina i àrab. És durant el Renaixement i l'edat contemporània que la gastronomia es continua desenvolupant, i amb l'arribada del segle xx i la producció d'aliments, es diversifica.

La gastronomia catalana tradicional és un exemple d'alimentació saludable i sostenible perquè es fonamenta en:

- **Ingredients locals i de temporada**, com verdures i hortalisses locals, peix i marisc fresc del Mediterrani, fruita seca i fruita fresca, que garanteixen aliments nutritius i redueixen la petjada ecològica associada al transport i la producció.
- **Plats tradicionals saludables**, com l'escalivada, el suquet de peix o la samfaina, que són rics en verdures i peix, aporten un bon valor nutricional i es preparen amb tècniques senzilles i sense excés de sal ni greixos.
- **Tècniques culinàries senzilles**, que conserven els nutrients i minimitzen el malbaratament, com les coccions suaus, l'aprofitament de tots els ingredients (com en l'escudella i carn d'olla), o la conservació d'aliments mitjançant conserves casolanes.
- **Innovació i sostenibilitat**, ja que molts cuiners catalans actualment promouen receptes que combinen tradició amb criteris sostenibles, com la incorporació de més vegetals als plats i la reducció del consum de carn, que es recomana entre 3 i 4 vegades a la setmana.
- **Un valor nutricional indiscutible**, gràcies als aliments de proximitat utilitzats en la nostra gastronomia. Això garanteix una ingesta equilibrada de nutrients:
 - **Fruïtes i verdures.** Són riques en aigua, vitamines, minerals, fibra i antioxidants. Es recomana consumir-ne un mínim de tres racions al dia.
 - **Làctics.** La llet, els iogurts i els formatges, entre d'altres, són una font important de calci i proteïnes. Se'n recomana entre una i tres racions al dia.
 - **Farinacis.** Inclouen tubercles com la patata i el moniato, cereals integrals i llegums, font princi-

«La gastronomia catalana forma part de la dieta mediterrània, reconeguda per la UNESCO com a patrimoni cultural immaterial de la humanitat.»

pal d'energia gràcies als carbohidrats, i haurien de ser presents en els tres àpats principals.

- **Peix.** És una font de proteïnes i greixos saludables, com els omega-3, que ajuden a reduir el risc cardiovascular. Se'n recomana el consum entre dues i tres vegades a la setmana, una de les quals hauria de ser peix blau com la sardina.
- **Carn.** Tot i que se'n recomana una ingesta moderada, pot consumir-se entre tres i quatre vegades per setmana. La carn vermella (com la vedella o el xai) s'ha de limitar a un màxim de dues vegades. La carn és una bona font de ferro.
- **Ous.** Malgrat que durant molt de temps se n'ha qüestionat el consum, l'evidència científica actual en destaca els beneficis com a font de proteïnes d'alta qualitat. Es recomana consumir-ne entre tres i quatre vegades per setmana.

Per complementar aquestes recomanacions, és clau utilitzar oli d'oliva verge tant per cuinar com per amanir, així com incorporar fruita seca, rica en fibra, greixos saludables i font de vitamina E.

La gastronomia catalana forma part de la dieta mediterrània, reconeguda per la UNESCO com a patrimoni cultural immaterial de la humanitat pel seu equilibri i els beneficis que aporta a la salut. Com ja s'ha comentat anteriorment, aquesta dieta es caracteritza per un alt consum de verdures, fruita fresca, cereals integrals, oli d'oliva verge, peix i un consum moderat de carn i ous, la qual cosa contribueix a una alimentació equilibrada i saludable.

Per acabar aquesta interessant jornada, el xef Víctor Quintillà va compartir en directe els detalls del plat de pèsols del vídeo que s'ha explicat anteriorment, i va destacar com aquesta recepta uneix tradició, producte de temporada i tècniques culinàries sostenibles, en línia amb els valors de la gastronomia catalana.

CONCLUSIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR

La distinció de Catalunya com a Regió Mundial de la Gastronomia 2025 no només reconeix el valor del nostre patrimoni culinari, sinó que també projecta un compromís col·lectiu per vincular gastronomia, salut, ciència i territori. La participació activa de l'ACCA en aquesta efemèride, mitjançant iniciatives com el vídeo *Del plat al camp* i la jornada del passat 25 de març, evidencia la voluntat de posar el coneixement científic i la cultura alimentària al servei de la societat.

Aquest article ha volgut recollir tant la dimensió històrica com l'actual lideratge gastronòmic català, des del *Llibre de Sent Soví* fins a la revolució del Bulli i el naixement de la gastronomia científica. Catalunya ha demostrat tenir una base sòlida i diversa, tant pel que fa als productes i paisatges com als professionals que en formen part, capaços de generar innovació amb arrels profundes en la tradició.

De cara al futur, cal continuar fomentant el diàleg entre ciència i cuina, impulsar l'educació alimentària des de les primeres etapes formatives, i enfortir els vincles entre el sector agroalimentari, els col·lectius professionals i la ciutadania. És des d'aquesta mirada integral —científica, cultural i social— que la gastronomia catalana pot consolidar-se no només com a referent internacional, sinó com a motor transformador per a una alimentació més saludable, sostenible i connectada amb el territori.

REFERÈNCIES

ACHÓN TUÑÓN, M.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, M. P.; VARELA-MOREIRAS, G. (2018). «Criterios de armonía funcional entre gastronomía y salud: una visión desde la comunidad científica». *Nutr. Hosp.* [en línia], 12 (35), p. 75-84. <<https://dx.doi.org/10.20960/nh.2131>>.

HØJLUND, S.; MOURITSEN, O. G. (2025). «Sustainable cuisines and taste across space and time: Lessons from the past and promises for the future». *Gastronomy* [en línia], 3 (1), p. 1. <<https://doi.org/10.3390/gastronomy3010001>>.

SOM GASTRONOMIA (2025). «Catalunya, regió mundial de la gastronomia 2025» [en línia]. <<https://somgastronomia.cat/crmg25/>> [Consulta: 4 maig 2025].

Millores biotecnològiques en els llevats cervesers

Biotechnological improvements in brewer's yeasts



GUILLEM RUIZ

Graduat en ciència i tecnologia dels aliments (CTA), Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Cervesa Espiga. Companyia Artesana Maïans, SL.



JORDI SALDO

Professor titular del Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

RESUM: En els darrers anys, el desenvolupament biotecnològic aplicat als llevats cervesers ha esdevingut una línia clau per optimitzar l'eficiència i qualitat del procés de fermentació en la indústria cervesera. El treball revisa en profunditat les millores biotecnològiques centrades en dues propietats fonamentals dels llevats: la floculació, o capacitat d'agregació i sedimentació cel·lular, i l'atenuació, entesa com la capacitat de transformar els sucres fermentables en etanol.

Els llevats del gènere *Saccharomyces*, especialment *S. cerevisiae* i *S. pastorianus*, són les espècies més utilitzades, tot i que el paper de llevats no convencionals (com *Brettanomyces* o *Torulaspora*) també s'està investigant per millorar perfils organolèptics o reduir l'alcohol. Les diferències entre soques, la composició de la paret cel·lular i les vies metabòliques influeixen directament en la floculació i en l'eficiència fermentativa, factors decisius en l'elecció del llevat per a cada estil de cervesa.

La biotecnologia té una gran importància estratègica en el desenvolupament de llevats adaptats a nous reptes industrials, com la fermentació a baixes temperatures, la reducció del temps de producció o l'optimització dels perfils sensorials. Les eines moleculars actuals obren la porta a una nova generació de llevats cervesers més eficients i versàtils.

PARAULES CLAU: floculació, atenuació, *Saccharomyces*, paret cel·lular, efecte Crabtree, estratègies biotecnològiques.

ABSTRACT: *In recent years, biotechnological development applied to brewer's yeasts has become a key line of activity to optimize the efficiency and quality of the fermentation process in the brewing industry. This study reviews in depth the biotechnological improvements relating to two fundamental properties of yeasts: flocculation, or the capacity for cellular aggregation and sedimentation, and attenuation, understood as the capacity to transform fermentable sugars into ethanol.*

Yeasts of the genus Saccharomyces, especially S. cerevisiae and S. pastorianus, are the most widely used species, although the role of unconventional yeasts (such as Brettanomyces or Torulaspora) is also being investigated to improve organoleptic profiles or reduce alcohol. Differences between strains, cell wall composition and metabolic pathways directly influence flocculation and fermentation efficiency, which are decisive factors in the choice of yeast for each style of beer.

Biotechnology has a great strategic importance in the development of yeasts adapted to new industrial challenges, such as fermentation at low temperatures, reduction of production time, or optimization of sensory profiles. Current molecular tools open the door to a new generation of more efficient and versatile brewer's yeasts.

KEYWORDS: *flocculation, attenuation, Saccharomyces, cell wall, Crabtree effect, biotechnological strategies.*

INTRODUCCIÓ

Els llevats cervesers són microorganismes essencials en la producció de cervesa, i les seves característiques intrínseques exerceixen una influència determinant sobre la qualitat final del producte i l'eficiència global del procés de fermentació. La major part de la variabilitat dels llevats emprats actualment s'ha desenvolupat a partir de l'any 1600, coincidint amb l'inici dels processos industrials de producció, en què s'ha fet ús de tècniques d'evolució adaptativa per millorar-ne tant l'eficiència fermentativa (atenuació) com la resposta fisiològica del llevat a condicions industrials (Gibson *et al.*, 2020). Aquesta revisió bibliogràfica se centra en les millores biotecnològiques aplicades als llevats cervesers durant els darrers anys, amb un èmfasi particular en dues propietats tecnològiques fonamentals: la floculació i l'atenuació.

La selecció de la soca de llevat més adequada per a cada estil de cervesa depèn críticament dels seus atributs fenotípics. La floculació es refereix a la capacitat de les cèl·lules de llevat per agregar-se espontàniament, formant flocs que sedimenten i faciliten la separació del llevat de la cervesa al final de la fermentació. Una floculació insuficient pot requerir etapes addicionals de clarificació física per obtenir una cervesa límpida. La floculació dels llevats està regulada a través del genoma dels llevats (gen *Flo*, proteïnes floculines) (Verbelen *et al.*, 2006). Per altra banda, l'atenuació mesura la capacitat del llevat per metabolitzar els sucres fermentables presents en el most cerveser. Un alt grau d'atenuació implica una conversió eficient de sucres en etanol i diòxid de carboni, cosa que ocasiona sovint cicles de fermentació més curts i un major rendiment alcohòlic.

Ambdues característiques, floculació i atenuació, estan fortament determinades pel genotip de la soca de llevat. Les particularitats estructurals de la paret cel·lular i les especificitats de les vies metabòliques tenen una rellevància especial, ja que influeixen directament en el comportament floculant i en la capacitat d'atenuació del llevat. La comprensió i manipulació d'aquests factors mitjançant eines biotecnològiques constitueixen un camp d'investigació actiu per a la millora contínua dels llevats cervesers.

CERVESES I PROCESSOS FERMENTATIUS

D'acord amb la normativa vigent (Reial decret 678/2016), la cervesa es defineix com el producte alimentari resultant de la fermentació alcohòlica, mitjançant llevats seleccionats, d'un most cerveser elaborat a partir de matèries primeres naturals. El most cerveser és el líquid ensucrat obtingut principalment per l'extracció i hidròlisi enzimàtica del midó contingut en cereals maltats, típicament ordi. El procés de maceració, que consisteix a barrejar la malta molta amb aigua calenta, facilita l'extracció del midó, el qual és posteriorment hidrolitzat a sucres fermentables per l'acció d'enzims endògens de la malta (amilases) (Baxter *et al.*, 2003).

El perfil de sucres fermentables del most (principalment maltosa, maltotriosa, glucosa i fructosa) depèn tant de la matèria primera (tipus de malta) com de les condicions del procés de maceració. És rellevant destacar que *Saccharomyces cerevisiae* és capaç de fermentar eficientment tots aquests sucres, inclosa la maltotriosa, mentre que altres espècies poden tenir limitada la seva capacitat per utilitzar aquest trisacàrid, cosa que n'afecta l'eficiència.

Taula 1. Tipus de cervesa més coneguts

TIPUS DE CERVERSA	FERMENTACIÓ	TEMPERATURA	ESPÈCIES DE LLEVATS	CARACTERÍSTIQUES	ESTILS
Ale	Part superior del tanc (<i>top fermenting</i>)	16 - 24 °C	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Àmplia varietat de flavors i aromes (molts èsters) Més fàcils i ràpides de produir	Pale Ale (IPA) i Bitter
Lager	Part inferior del tanc (<i>bottom fermenting</i>)	7 - 15 °C	<i>Saccharomyces pastorianus</i> (híbrid entre <i>S. cerevisiae</i> i <i>S. bayanus</i>)	Llarga maduració a baixa temperatura (<i>lagering</i>) Gust net i neutre (menys èsters, més diacetil)	Lager pàl·lida, Pilsner, Bock
Làmbic	Esponània	Depenent del lloc de producció	Llevats silvestres com <i>Brettanomyces bruxellensis</i> i altres	Gust lleugerament àcid Poc amargues	Gueuze, Faro, Kriek

Font: Elaboració pròpia.

cia fermentativa global en mostos cervesers estàndard (Cubillos *et al.*, 2019).

Els llevats inoculats determinen en gran manera el tipus de cervesa produïda. Tradicionalment, es distingeixen els llevats de fermentació alta (per a cerveses *ale*) i els de fermentació baixa (per a cerveses *lager*) (Hughes, 2014). La taula 1 resumeix les característiques principals dels tipus de cervesa més comuns.

IMPORTÀNCIA DELS LLEVATS

Encara que s'estima l'existència de més de 1.500 espècies de llevats descrites, la producció industrial de cervesa es basa predominantment en l'ús d'espècies del gènere *Saccharomyces*, principalment *S. cerevisiae* i *S. pastorianus* (Hughes, 2014). No obstant això, hi ha un interès creixent en l'aplicació de llevats no *Saccharomyces* per les seves característiques particulars. Aquests llevats poden contribuir a la producció de cerveses amb baix contingut alcohòlic, millorar perfils aromàtics i gustatius, o fins i tot modular l'atenuació. Exemples d'aquests llevats inclouen espècies de *Brettanomyces*, *Hanseniaspora*, *Pichia*, *Torulaspora* i *Wickerhamomyces* (Cubillos *et al.*, 2019).

El rol fonamental dels llevats en la cerveseria és la fermentació dels sucres del most en condicions predominantment anaeròbiques i produir etanol i diòxid de carboni com a productes principals, juntament amb un ampli espectre de compostos secundaris (èsters, alcohols superiors, compostos fenòlics, compostos de sofre) que contribueixen decisivament al perfil organolèptic final de la cervesa (Jeyaram i Rai, 2017; Astola *et al.*, 2023). Per tant, la selecció acurada de la soca de llevat és un factor crític que determina les característiques sensorials i fisicoquímiques del producte acabat.

Històricament, les soques de *S. cerevisiae* utilitzades en cerveseria han estat seleccionades empíricament per propietats tecnològicament desitjables com la floculació eficient, la capacitat d'utilitzar els sucres del most i la producció d'un perfil organolèptic adequat. En el cas de les cerveses *lager*, el llevat *S. pastorianus*, un híbrid natural entre *S. cerevisiae* i *S. eubayanus*, és el responsable del perfil aromàtic característic i de la capacitat de fermentar a baixes temperatures. No obstant això, algunes soques parentals com *S. eubayanus* mostren limitacions, com la incapacitat de metabolitzar la maltotriosa i una floculació deficient (Gibson *et al.*, 2013; Cubillos *et al.*, 2019).

Aquesta diversitat natural i les limitacions inherents han impulsat la recerca i el desenvolupament de noves soques de llevat amb perfils de propietats optimitzats per a aplicacions cerveseres específiques, sovint mitjançant eines biotecnològiques. L'interès en aquest camp es reflecteix en un nombre sostingut de publicacions científiques.

CARACTERÍSTIQUES DELS LLEVATS

La majoria dels llevats són organismes aerobis estrictes. Tanmateix, els llevats cervesers (*Saccharomyces* spp.) són anaerobis facultatius. En presència d'altres concentracions de sucres fermentables i absència o limitació d'oxigen, reprimeixen la respiració (efecte Crabtree o efecte Pasteur segons el context) i prioritzen la fermentació alcohòlica per a la producció d'energia, desacoblant-la parcialment de la producció de biomassa. Els seus requisits nutricionals són relativament simples; necessiten una font de carboni (sucres), nitrogen (aminoàcids, pèptids, amoní), minerals i vitamines (especialment biotina, àcid pantotènic i tiamina) (Bamforth i Cook, 2019).

Morfològicament, *S. cerevisiae* i *S. pastorianus* són eucariotes unicel·lulars, generalment de forma esfèrica o

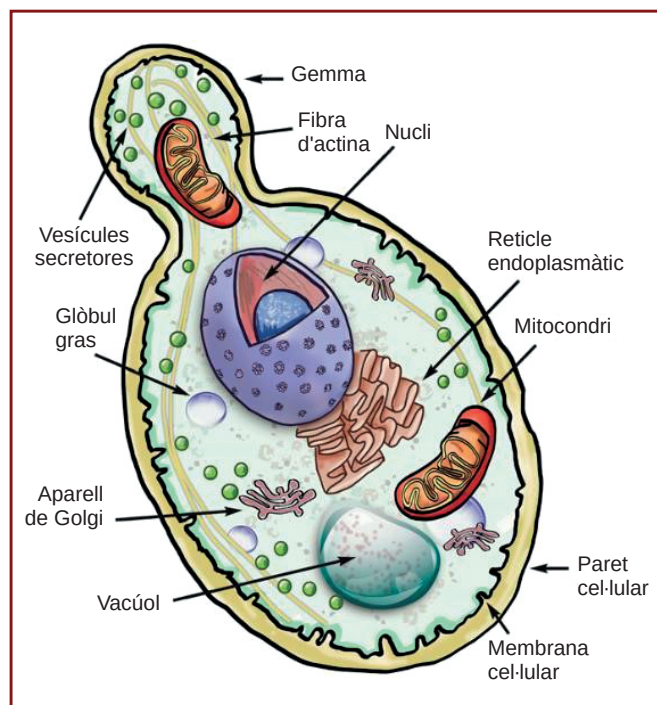


Figura 1 Diagrama de les parts del llevat *Saccharomyces cerevisiae*. Font: Reproduït de Walker i Stewart (2016), sota llicència Creative Commons Reconeixement (CC by 4.0 Internacional) (<https://doi.org/10.3390/beverages2040030>).

el·lipsoïdal, amb un diàmetre aproximat de 5-10 μm (Bamforth i Cook, 2019). El seu material genètic s'organitza en cromosomes ubicats dins del nucli. Els llevats haploïdes del gènere *Saccharomyces* contenen típicament 16 cromosomes. En funció del nombre de jocs cromosòmics, es classifiquen com a haploïdes (n), diploïdes ($2n$) o poliploïdes ($>2n$). Moltes soques cerveseres industrials són poliploïdes o aneuploïdes, una característica que sovint confereix major estabilitat genètica i robustesa fisiològica, cosa que permet reutilitzar-les en cicles de fermentació successius (*repitching*). A més, la poliploïdia pot donar com a resultat la sobreexpressió de gens clau per a la utilització de sucres, fet que millora potencialment l'eficiència fermentativa (Bamforth, 2006; Stewart *et al.*, 2017). La figura 1 mostra un esquema general de la cèl·lula de llevat.

Els llevats són els agents biològics responsables de la fermentació primària del most, que transformen sucres en etanol, CO_2 i altres subproductes (Walker i Stewart, 2016). Certes característiques morfològiques (especialment de la paret cel·lular) i metabòliques tenen un impacte directe i significatiu sobre els processos de floculació i atenuació.

MORFOLOGIA DE LA PARET CEL·LULAR DELS LLEVATS RELACIONADA AMB LA FLOCULACIÓ

La paret cel·lular dels llevats (amb un gruix d'aproximadament 100-200 nm) és una estructura extracel·lular essencial i multifuncional. Proporciona rigidesa estructural i forma a la cèl·lula, actua com a barrera protectora osmòtica i física, i participa en processos d'adhesió i interacció cel·lular. Des del punt de vista cerveser, la seva implicació en la interacció cèl·lula-cèl·lula, és a dir, la floculació, és de gran interès tecnològic (Bamforth, 2006; Stewart *et al.*, 2017).

Estructuralment, la paret està composta principalment per polisacàrids: β -glucans (majoritàriament β -1,3-glucans amb ramificacions β -1,6), que formen l'esquelet intern, i mannoproteïnes altament glicosilades, que constitueixen la capa externa. També conté quantitats menors de quitina (principalment al septe de gemmació), lípids i altres proteïnes. Les mannoproteïnes de la superfície cel·lular, particularment les floculines, són determinants clau en el procés de floculació, ja que actuen com a lectines que

medien l'agregació cel·lular (Stewart *et al.*, 2017; Karabín *et al.*, 2018).

La floculació es defineix com l'agregació asexual, reversible i dependent de cations divalents (principalment Ca^{2+}) de les cèl·lules de llevat. El mecanisme molecular subjacent implica la unió específica de proteïnes floculines (codificades pels gens *Flo*), exposades a la superfície cel·lular, a residus de mannan presents en les mannoproteïnes de cèl·lules adjacents (Wang *et al.*, 2023). Existeix una variabilitat considerable en el grau i tipus de floculació entre diferents soques de llevat, la qual cosa reflecteix diferències en l'expressió i estructura dels gens *Flo* i altres factors reguladors (Bamforth i Cook, 2019).

VIES METABÒLIQUES RELACIONADES AMB L'ATENUACIÓ

El most cerveser conté un perfil complex de carbohidrats, incloent-hi sucres fermentables com glucosa (~10 %), fructosa (~2 %), sacarosa (~5 %), maltosa (~45 %) i maltotriosa (~15 %), a més de dextrines no fermentables per a la majoria de llevats cervesers (~23 %) (Bamforth i Cook, 2019). La capacitat d'utilitzar eficientment aquests sucres, especialment la maltosa i la maltotriosa (els més abundants), determina en gran part el grau d'atenuació del llevat.

Tant en la maltosa com en la maltotriosa, l'encarregat de separar les glucoses unides pels enllaços glicosídics és l'enzim α -glucosidasa, amb la internalització prèvia dels sucres mitjançant transportadors específics de membrana (permeases). En canvi, per obtenir les glucoses de la sacarosa i la melibiosa serà necessari l'enzim invertasa i α -galactosidasa, respectivament, que actuen extracel·lularment (Bamforth i Cook, 2019). La capacitat de transportar i metabolitzar la maltotriosa és variable entre soques i espècies, i sovint és un factor limitant per a una atenuació completa. Algunes soques posseeixen transportadors específics per a la maltotriosa, com les proteïnes Malt (Baker i Hittinger, 2019).

Un cop els sucres són internalitzats o convertits a hexoses (glucosa, fructosa), aquestes entren a la via glicolítica central (via d'Embden-Meyerhof-Parnas, EMP) per ser convertides a piruvat (figura 2). En condicions anaeròbiques o microaeròfiles i amb suficient sucre disponible (condicions típiques de la fermentació cervesera), el piruvat és descarboxilat a acetaldehid, el qual és posteriorment reduït a etanol per l'alcohol deshidrogenasa, que regenera NAD^+ necessari per mantenir el flux

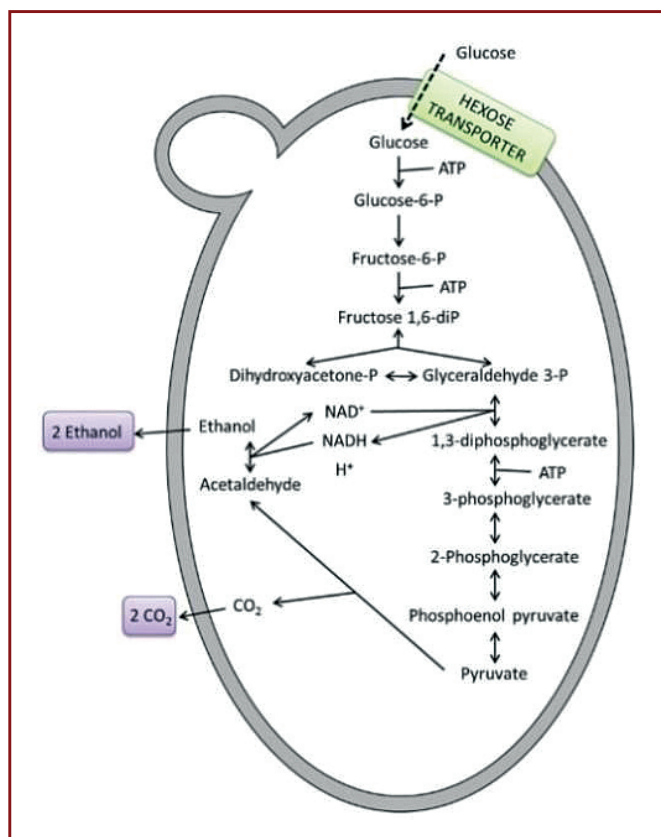


Figura 2. Via d'Embden-Meyerhof-Parnas i la fermentació alcohòlica. Font: Maicas (2020), sota llicència Creative Commons Reconeixement (CC by 4.0 Internacional) (<https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>).

glicolític (Bamforth i Cook, 2019). Aquest procés constitueix la fermentació alcohòlica. No totes les espècies de llevat exhibeixen un efecte Crabtree tan pronunciat com *Saccharomyces*, la qual cosa afecta la seva producció d'etanol.

PROBLEMES ACTUALS DELS LLEVATS CERVESERS

Les propietats de floculació i atenuació són paràmetres crítics en la selecció de soques de llevat per a processos cervesers industrials. Aquestes dues característiques estan sovint interrelacionades: una floculació prematura o excessiva pot provocar una atenuació incompleta (fermentació «aturada»), ja que les cèl·lules sedimenten abans d'haver consumit tots els sucres disponibles. Per contra, una floculació insuficient pot dificultar la clarificació de la cervesa, cosa que pot requerir processos addicionals de separació (centrifugació, filtració) i afectar negativament la qualitat final (Karabín *et al.*, 2018).

L'atenuació, que reflecteix l'eficiència de la conversió de sucres en alcohol (mesurable per la disminució de la

densitat del most), és un factor determinant de l'eficiència global del procés i del contingut alcohòlic final. Soques amb baixa capacitat d'atenuació poden deixar un contingut elevat de sucres residuals, la qual cosa afecta el cos i la dolçor de la cervesa, i representar una pèrdua d'eficiència. La millora de l'atenuació, per exemple, augmentant la capacitat d'utilitzar sucres complexos com la maltotriosa o les dextrines, és un objectiu clau de la biotecnologia aplicada als llevats cervesers (Karabín *et al.*, 2018). A més, perquè el grau d'atenuació sigui alt, també és necessari que el contingut de sucre inicial del most sigui alt, de manera que el llevat maximitza l'eficiència amb la qual utilitza aquest sucre (Bamforth i Cook, 2019). A l'apartat següent mostrarem com s'associa un major grau d'atenuació mitjançant l'enginyeria genètica per fer que els llevats puguin fermentar el nombre més elevat de sucres possible.

La floculació és essencial per a la separació eficient del llevat al final de la fermentació primària, especialment en sistemes tradicionals sense filtració o centrifugació. El grau i moment òptims de floculació varien segons el tipus de cervesa i el disseny del procés. Una floculació massa ràpida condueix a baixa atenuació, mentre que una floculació tardana o feble complica la collita del llevat i la clarificació. Encara que l'addició de calci pot afavorir la floculació en algunes soques, el control precís d'aquest fenomen depèn principalment de factors genètics intrínsecs del llevat (Bamforth i Cook, 2019). La modulació genètica de la floculació és, per tant, una altra àrea d'interès biotecnològic.

ESTRATÈGIES BIOTECNOLÒGIQUES PER A LA MILLORA DELS LLEVATS CERVESERS

En el context de la millora de les propietats tecnològiques dels llevats cervesers, especialment en termes de floculació i atenuació, s'han explorat diverses estratègies biotecnològiques amb l'objectiu d'obtenir soques més eficients i adaptades als requisits de la indústria. La taula 2 recull de manera comparativa les principals tècniques emprades en aquest àmbit, des de mètodes clàssics com la hibridació i la mutagènesi aleatòria fins a enfocaments més moderns i precisos com l'enginyeria genètica dirigida, l'enginyeria metabòlica i l'ús de la tecnologia CRISPR/Cas9. Aquesta classificació permet entendre el grau de complexitat, especificitat i aplicabilitat de cada tècnica, així com el seu potencial per introduir millores concretes en les soques de *Saccharomyces* i altres llevats utilitzats en la producció de cervesa.

Taula 2. Principals tècniques de millora biotecnològica dels llevats

TÈCNiques	DESCRIPCIÓ	ARTICLES
Hibridació	Consisteix a creuar dues soques per obtenir el fenotip «ideal» del llevat combinant les propietats específiques que es volen conservar de cada soca. És un procés bastant aleatori.	Iorizzo <i>et al.</i> , 2021; Nikulin <i>et al.</i> , 2018; Wauters <i>et al.</i> , 2023.
Mutagènesi aleatòria: mutació dels gens mitjançant llum ultraviolada (UV) o mutàgens químics	S'indueix una mutació dels gens del llevat mitjançant llum ultraviolada o mutàgens químics. No s'utilitza gaire actualment, ja que, en produir-se mutacions aleatòries, requereix un procés de selecció laboriós i complex. També hi poden tenir lloc mutacions no desitjades i provocar inconvenients.	Wang i Hou, 2010.
Genètica molecular: tècniques d'enginyeria de l'ADN recombinant	Consisteix a introduir un gen prèviament seleccionat per produir proteïnes recombinants. Els vectors introduïts també contenen gens de resistència de l'antibiòtic de selecció. Existeix la possibilitat d'introduir el gen dins el genoma del llevat. Són tècniques molt útils quan els gens estan associats a trets concrets.	Chao <i>et al.</i> , 2015; Gnügge i Rudolf, 2017.
Genètica molecular: tècnica d'enginyeria metabòlica dirigida	Permet modificar específicament la informació genètica i el fenotip. És necessari un coneixement exhaustiu de les vies metabòliques implicades en el procés que volem alterar, de manera que podem incorporar o silenciar gens que produeixin o inhibeixin enzims que modifiquin aquestes vies.	Cejnar <i>et al.</i> , 2016 i 2017.
Tècnica CRISPR/Cas9	És una tècnica de recombinació homòloga que permet l'edició genètica dirigida amb una alta eficiència d'integració del gen.	Raschmanová <i>et al.</i> , 2018; Walter <i>et al.</i> , 2016.

Font: Elaboració pròpia.

MILLORES BIOTECNOLÒGIQUES DE LA FLOCULACIÓ

La floculació en *Saccharomyces* està controlada principalment per una família de gens anomenats *Flo* (com *Flo1*, *Flo5*, *Flo9*, *Flo10*, *Flo11*), que codifiquen per a les proteïnes floculines, encarregades de l'agregació entre les cèl·lules de llevat. L'expressió d'aquests gens és complexa i està regulada per diversos factors ambientals i vies de senyalització intracel·lular, incloent la concentració de calci i, de manera important, la via de la integritat de la paret cel·lular (CWI, *cell wall integrity pathway*) (Wang *et al.*, 2023).

La via CWI s'activa en resposta a diferents tipus d'estrès que afecten la paret cel·lular (tèrmic, osmòtic, químic) i és crucial per mantenir l'homeòstasi d'aquesta estructura. S'ha demostrat que aquesta via també regula l'expressió dels gens *Flo*. Un component clau és la proteïna quinasa activada per mitògens (MAPK) Slt2. La fosforilació i activació de Slt2 en resposta a l'estrès de paret condueixen a l'activació de factors de transcripció que regulen els gens *Flo*, cosa que promou l'agregació cel·lular. De fet, la delecció del gen *Slt3* generalment suprimeix la floculació (Sariki *et al.*, 2019).

Un altre gen determinant en la floculació és l'*Rlm1*, que codifica per un factor de transcripció que també es troba involucrat en la via de senyalització CWI, el qual, en

fosforilar-se per la Slt2, activa la transcripció de gens involucrats en la biosíntesi i manteniment de la paret cel·lular (Sariki *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2023). Sariki *et al.* (2019) van proposar un model per a la regulació de la floculació per la via CWI, en què l'activació de Slt2 i *Rlm1* conduiria a la desrepressió dels gens *Flo* mitjançant la modulació de complexos repressors com Tup1/Cyc8, possiblement amb la intervenció d'altres factors com *Sen1*. Quan el llevat està sotmès a condicions d'estrès —com ara agents que danyen la paret cel·lular o temperatures elevades— o mutacions genètiques, es produeixen canvis en la composició bioquímica de la paret cel·lular. Aquests canvis activen la via CWI mitjançant la fosforilació de la proteïna quinasa Slt2. Un cop activada, Slt2 segueix una translocació al nucli, on activa *Rlm1*. Aquest, en cooperació amb factors de transcripció generals com TBP, Pol II i el complex remodelador de cromatina SWI/SNF, forma el complex preiniciador (PIC), que permet l'expulsió del repressor Tup1 i transforma l'estat repressor (*off*) dels gens *Flo* en un estat actiu (*on*). *Sen1* actua com a facilitador d'aquest procés, probablement en cooperació amb *Rlm1* i altres components de la

«La floculació en *Saccharomyces* està controlada principalment per una família de gens anomenats *Flo*.»

maquinària transcripcional, cosa que afavoreix l'expressió dels gens responsables de la floculació.

La comprensió d'aquests mecanismes reguladors obre vies per a la manipulació biotecnològica de la floculació, per exemple, modificant l'expressió o activitat de components clau de la via CWI (Slt2, *Rlm1*) o directament dels gens *Flo*, per ajustar el fenotip floculant a les necessitats específiques del procés cerveser. No obstant això, la implementació pràctica d'aquestes modificacions en soques industrials requereix una consideració acurada dels possibles efectes pleiotròpics sobre altres característiques del llevat.

MILLORES BIOTECNOLÒGIQUES DE LA CAPACITAT D'ATENUACIÓ

Un factor limitant clau per a l'atenuació completa en molts llevats cervesers és la seva capacitat limitada per transportar i metabolitzar la maltotriosa. S'ha identificat que algunes soques, com certes variants de *S. eubayanus*, posseeixen transportadors de maltotriosa més eficients, codificats per gens de la família *Malt* (com *Malt1-4*). Mitjançant tècniques d'ADN recombinant, s'ha aconseguit sobreexpressar aquests gens en soques que originalment no podien utilitzar la maltotriosa de manera eficient i millorar significativament el seu grau d'atenuació (Baker i Hittinger, 2019).

Una altra estratègia reeixida ha estat la hibridació inter-específica (taula 2). Es va demostrar que, hibridant una soca parental de *S. cerevisiae* i el llevat de referència *S. pastorianus*, s'obté una fermentació més ràpida i una major atenuació (Mertens *et al.*, 2015). Amb la mateixa tècnica, s'ha assolit una millora de la capacitat d'atenuació utilitzant soques de *S. arboricola*, *S. mikatae* i *S. uvarum*, de manera que es permet l'ús d'híbrids artificials, com a alternativa de *S. pastorianus*, per a la producció de cerveses *lager* (Nikulin *et al.*, 2018). La creació d'aquests nous híbrids amplia la diversitat genètica disponible per als cervesers i permet explorar noves combinacions de rutes metabòliques per optimitzar el rendiment (Cubillos *et al.*, 2019).

A més de la capacitat d'utilitzar sucres específics, altres factors com el grau de ploïdia poden influir en l'atenuació, possiblement a través de l'efecte de dosi gènica sobre enzims clau de la fermentació (Gibson *et al.*, 2017). Com s'ha mencionat anteriorment, les condicions del most, com la concentració inicial de sucres, també tenen un paper en l'eficiència global de l'atenuació (Bamforth i Cook, 2019). L'enginyeria metabòlica dirigida a optimitzar el flux a través de la via glicolítica o a millorar la

«La creació d'aquests nous híbrids amplia la diversitat genètica disponible per als cervesers.»

tolerància a l'estrès (etanòlic, osmòtic) representa una altra via per potenciar la capacitat d'atenuació dels llevats.

CONCLUSIONS

L'enginyeria genètica i la biotecnologia ofereixen eines poderoses per a l'optimització dels llevats cervesers, que permeten potenciar característiques desitjables com l'atenuació i la floculació i minimitzar trets indesitjables (per exemple, producció de compostos aromàtics desagradables). El camp de la millora biotecnològica dels llevats està en constant evolució i ofereix solucions potencials a reptes persistents de la indústria cervesera.

Estratègies com la hibridació de soques i l'ús de tècniques d'ADN recombinant han demostrat ser eficaces per millorar les propietats fermentatives, incloent-hi l'atenuació, i per generar noves variants de llevats (per exemple, híbrids per a *lager*) amb rendiments optimitzats. Aquestes aproximacions augmenten l'eficiència del procés productiu, tant en termes de temps com d'utilització de recursos.

Pel que fa a la floculació, tot i que s'ha avançat significativament en la comprensió dels mecanismes moleculars subjacents (implicació de la via CWI i els gens *Flo*), sembla necessari aprofundir en l'aplicació pràctica d'aquests coneixements per a la modulació fina i controlada d'aquesta propietat en el context industrial cerveser. Una limitació observada durant aquesta revisió ha estat la relativa escassetat d'estudis publicats que demostrin millores concretes de la floculació mitjançant enginyeria genètica directament aplicades i validades en producció de cervesa, tot i que la base de coneixement sobre els gens implicats en *S. cerevisiae* és sòlida.

En conclusió, les tècniques de millora genètica de llevats representen una àrea de gran potencial per a la indústria cervesera. No només permeten abordar problemes existents, sinó que també obren noves vies per a la innovació, el desenvolupament de nous estils de cervesa i l'adaptació als reptes futurs del sector, com la sostenibilitat i la demanda de productes diferenciats.

REFERÈNCIES

- ASTOLA, A.; DURÁN-GUERRERO, E.; DÍAZ, A. B.; LASANTA, C.; CASTRO, R. (2023). «Impact of the genetic improvement of fermenting yeasts on the organoleptic properties of beer». *European Food Research and Technology* [en línia], 249 (7), p. 1677-1687. <<https://doi.org/10.1007/s00217-023-04251-8>>.
- BAKER, E. P.; HITTINGER, C. T. (2019). «Evolution of a novel chimeric maltotriose transporter in *Saccharomyces eubayanus* from parent proteins unable to perform this function». *PLOS Genetics* [en línia], 15 (4), e1007786. <<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007786>>.
- BAMFORTH, C. W. (2006). «Brewing: New technologies». A: BAMFORTH, C. W. (ed.). *Brewing: New technologies* [en línia]. Londres: Elsevier Inc. <<https://doi.org/10.1533/9781845691738>>.
- BAMFORTH, C. W.; COOK, D. J. (2019). *Food, fermentation, and microorganisms* [en línia]. Nova York: John Wiley & Sons Ltd. <<https://doi.org/10.1002/9781119557456>>.
- BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. (2003). *Cerveza: Calidad, higiene y características nutricionales* [en línia]. Saragossa: Acribia. <https://www.editorialacribia.com/libro/cerveza-calidad-higiene-y-caracteristicas-nutricionales_53683/> [Consulta: 10 abril 2025].
- CEJNAR, R.; HLOŽKOVÁ, K.; JELÍNEK, L.; KOTRBA, P.; DOSTÁLEK, P. (2017). «Development of engineered yeast for biosorption of beer haze-active polyphenols». *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línia], 101 (4), p. 1477-1485. <<https://doi.org/10.1007/s00253-016-7923-8>>.
- CEJNAR, R.; HLOŽKOVÁ, K.; KOTRBA, P.; DOSTÁLEK, P. (2016). «Surface-engineered *Saccharomyces cerevisiae* displaying α -acetolactate decarboxylase from *Acetobacter acetii* ssp. *Xylinum*». *Biotechnology Letters* [en línia], 38 (12), p. 2145-2151. <<https://doi.org/10.1007/s10529-016-2205-1>>.
- CHAO, R.; YUAN, Y.; ZHAO, H. (2015). «Recent advances in DNA assembly technologies». *FEMS Yeast Research* [en línia], 15 (1), p. 1-9. <<https://doi.org/10.1111/10.1111/1567-1364.12171>>.
- CUBILLOS, F. A.; GIBSON, B.; GRIJALVA-VALLEJOS, N.; KROGERUS, K.; NIKULIN, J. (2019). «Bioprospecting for brewers: Exploiting natural diversity for naturally diverse beers». *Yeast* [en línia], 36 (6), p. 383-398. <<https://doi.org/10.1002/yea.3380>>.
- GALLONE, B.; STEENSELS, J.; PRAHL, T.; SORIAGA, L.; SAELS, V.; HERRERA-MALAYER, B.; MERLEVEDE, A.; RONCORONI, M.; VOORDECKERS, K.; MIRAGLIA, L.; TEILING, C.; STEFFY, B.; TAYLOR, M.; SCHWARTZ, A.; RICHARDSON, T.; WHITE, C.; BAELE, G.; MAERE, S.; VERSTREPEN, K. J. (2016). «Domestication and divergence of *Saccharomyces cerevisiae* beer yeasts». *Cell* [en línia], 166 (6), p. 1397-1410.e16. <<https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.020>>.
- GIBSON, B.; DAHABIEH, M.; KROGERUS, K.; MAGALHÃES, F. (2020). «Adaptive laboratory evolution of brewing yeast for improved fermentation performance». *FEMS Yeast Research* [en línia], 20 (7), foaa057. <<https://doi.org/10.1093/femsyr/foaa057>>.
- GIBSON, B.; GEERTMAN, J.-M. A.; HITTINGER, C. T.; KROGERUS, K.; LIBKIND, D.; LOUIS, E. J.; MAGALHÃES, F.; SAMPAIO, J. P. (2017). «New yeasts—new brews: Modern approaches to brewing yeast design and development». *FEMS Yeast Research* [en línia], 17 (4). <<https://doi.org/10.1093/femsyr/fox038>>.
- GIBSON, B. R.; STORGÅRDS, E.; KROGERUS, K.; VIDGREN, V. (2013). «Comparative physiology and fermentation performance of Saaz and Froberg lager yeast strains and the parental species *Saccharomyces eubayanus*». *Yeast* [en línia], 30 (7), p. 255-266. <<https://doi.org/10.1002/YEA.2960>>.
- GNÜGGE, R.; RUDOLF, F. (2017). «*Saccharomyces cerevisiae* shuttle vectors». *Yeast* [en línia], 34 (5), p. 205-221. <<https://doi.org/10.1002/yea.3228>>.
- HUGHES, G. (2014). *Cómo elaborar cerveza casera*. Barcelona: Ediciones Omega.
- IORIZZO, M.; COPPOLA, F.; LETIZIA, F.; TESTA, B.; SORRENTINO, E. (2021). «Role of yeasts in the brewing process: tradition and innovation». *Processes* 2021 [en línia], 9 (5), p. 839. <<https://doi.org/10.3390/PR9050839>>.
- JEYARAM, K.; RAI, A. K. (2017). «Role of yeasts in food fermentation». *Yeast Diversity in Human Welfare* [en línia], p. 83-113. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-26218_4>.
- KARABÍN, M.; JELÍNEK, L.; KOTRBA, P.; CEJNAR, R.; DOSTÁLEK, P. (2018). «Enhancing the performance of brewing yeasts». *Biotechnology Advances* [en línia], 36 (3), p. 691-706. <<https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2017.12.014>>.
- MAICAS, S. (2020). «The role of yeasts in fermentation processes». *Microorganisms* [en línia], 8 (8), 1142. <<https://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>>.
- MERTENS, S.; STEENSELS, J.; SAELS, V.; ROUCK, G. de; AERTS, G.; VERSTREPEN, K. J. (2015). «A large set of newly created interspecific *Saccharomyces hybrids* increases aromatic diversity in lager beers». *Applied and Environmental Microbiology* [en línia], 81 (23), p. 8202-8214. <https://doi.org/10.1128/AEM.0246415/SUPPL_FILE/ZAM999116762SO1.PDF>.
- NIKULIN, J.; KROGERUS, K.; GIBSON, B. (2018). «Alternative *Saccharomyces* interspecies hybrid combinations and their potential for low-temperature wort fermentation». *Yeast* [en línia], 35 (1), p. 113-127. <<https://doi.org/10.1002/yea.3246>>.
- RASCHMANOVÁ, H.; WENINGER, A.; GLIEDER, A.; KOVAR, K.; VOGL, T. (2018). «Implementing CRISPR-Cas technologies in conventional and non-conventional yeasts: Current state and future prospects». *Biotechnology Advances* [en línia], 36 (3), p. 641-665. <<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.006>>.
- SARIKI, S. K.; KUMAWAT, R.; SINGH, V.; TOMAR, R. S. (2019). «Flocculation of *Saccharomyces cerevisiae* is dependent on activation of Slt2 and Rlm1 regulated by the cell wall integrity pathway». *Molecular Microbiology* [en línia], 112 (4), p. 1350-1369. <<https://doi.org/10.1111/mmi.14375>>.
- SCHWARZHANS, J.-P.; LUTTERMANN, T.; GEIER, M.; KALINOWSKI, J.; FRIEHS, K. (2017). «Towards systems metabolic engineering in *Pichia pastoris*». *Biotechnology Advances* [en línia], 35 (6), p. 681-710. <<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.07.009>>.
- STEWART, G. G.; RUSSELL, I.; ANSTRUTHER, A. (2017). *Handbook of brewing* [en línia]. 3a ed. Boca Raton, Florida: CRC Press. <<https://doi.org/10.1201/9781351228336>>.
- VERBELEN, P. J.; SCHUTTER, D. P. de; DELVAUX, F.; DELVAUX, F. R. (2006). «The role of flocculation in brewing». *Yeast* [en línia], 23 (6), p. 411-436. <<https://doi.org/10.1002/yea.1374>>.
- WALKER, G.; STEWART, G. (2016). «*Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages». *Beverages* [en línia], 2 (4), p. 30. <<https://doi.org/10.3390/beverages2040030>>.
- WALTER, J. M.; CHANDRAN, S. S.; HORWITZ, A. A. (2016). «CRISPR-Cas-assisted multiplexing (CAM): Simple same-day multi-locus engineering in yeast». *Journal of Cellular Physiology* [en línia], 231 (12), p. 2563-2569. <<https://doi.org/10.1002/jcp.25375>>.
- WANG, H.; HOU, L. (2010). «Genome shuffling to improve fermentation properties of top-fermenting yeast by the improvement of stress tolerance». *Food Science and Biotechnology* [en línia], 19 (1), p. 145-150. <<https://doi.org/10.1007/s10068-010-0020-3>>.
- WANG, X.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; FU, X.; MU, Y.; GUO, L.; LIU, X.; WU, X.; CHEN, Y. (2023). «Revealing potential genes affecting flocculation and/or viability of *Saccharomyces pastorianus* by comparative genomic analysis». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [en línia], 71 (41), p. 15417-15428. <<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c06585>>.
- WAUTERS, R.; HERRERA-MALAYER, B.; SCHREURS, M.; BIRCHAM, P.; CAUTEREELS, C.; CORTEBEECK, J.; DUFFIN, P. M.; STEENSELS, J.; VERSTREPEN, K. J. (2023). «Novel *Saccharomyces cerevisiae* variants slow down the accumulation of staling aldehydes and improve beer shelf-life». *Food Chemistry* [en línia], 398, 133863. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133863>>.

Ús de greixos totalment hidrogenats en la formulació d'aliments: estat actual



POL BRONCHUD MALAGÓN

Graduat en ciència i tecnologia dels aliments [Campus de l'Alimentació de Torribera, Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació de la Universitat de Barcelona, UB].

La indústria dels greixos i olis vegetals ha estat sotmesa a pressions legals, socials i mediambientals que han marcat l'evolució dels seus productes grassos.

Si ens remuntem fins al 1867, a petició de Napoleó III Bonaparte, i amb motiu de l'alt preu que tenia la mantega aleshores, el químic Mège-Mouriés va produir el primer substitut acceptable de la mantega, anomenat ràpidament *margarina*. Aquest producte, format per una fracció de seu de boví, pel seu punt de fusió, presentava una bona consistència a temperatura ambient i es fonia fàcilment a temperatures moderades (en boca). En descobrir que la diferència de consistència entre els olis vegetals i els greixos animals era a conseqüència de la major presència de dobles enllaços en els àcids grassos dels olis vegetals, a principis del segle xx es va començar a utilitzar la hidrogenació dels olis vegetals com a procés industrial per eliminar dobles enllaços amb la finalitat de substituir greixos animals en la formulació de margarines. Nasqueren llavors les margarines formulades a partir de greixos provinents de la hidrogenació parcial com a alternativa econòmicament viable a la mantega. L'evolució de la hidrogenació d'olis vegetals va permetre estendre'n l'ús en la producció d'aliments, sobretot en productes de confiteria, brioixeria, pastisseria i cremes per untar, degut a les seves propietats estructurals, les seves similituds funcionals amb altres greixos i la diferència de preus. Aquest augment de l'ús de greixos vegetals parcialment hidrogenats es va traduir en una major ingesta d'àcids grassos *trans* en la població de persones que vivien en països industrialitzats.

A partir dels anys noranta del segle passat, s'han anat establint de manera clara els efectes negatius i l'impacte dels àcids grassos *trans* sobre la salut humana. Aquests estudis han demostrat que la ingesta d'àcids grassos *trans* és un problema de salut pública i és per això que molts països

han fet canvis normatius i polítiques per reduir-ne la ingesta. En els anys següents, la font d'ingesta d'àcids grassos *trans* va passar a ser principalment la carn i els productes carnis procedents de remugants, que contenen àcids grassos *trans* naturals formats a causa de la biohidrogenació bacteriana que té lloc al rumen. Generalment, no es veuen com un problema de salut perquè la seva ingesta és relativament baixa en el marc d'una dieta equilibrada.

El coneixement científic i la presa de consciència d'alguns consumidors van estimular la preocupació del poder legislatiu i al llarg dels anys s'han anat generant una sèrie de canvis normatius que han permès una disminució significativa del contingut d'àcids grassos *trans* en aliments i, per tant, la reducció de la seva ingesta. Dinamarca, l'any 2004, va ser el primer país de la Unió Europea que va limitar el contingut d'àcids grassos *trans* produïts de manera industrial. Un reglament similar (RE (UE) 2019/649) es va aplicar a la resta dels països membres de la Unió Europea el 2019 i es va limitar el contingut de greixos *trans*, excepte els presents de manera natural en greixos d'origen animal, a un màxim de 2 grams per cada 100 grams de greix en aliments destinats al consumidor final i a la distribució minorista.

Si ens desplacem fins a l'Amèrica del Nord, tant al Canadà des del 2017 com als Estats Units des del 2018, està prohibida la presència de greixos parcialment hidrogenats en aliments.

En diferents parts del món s'han pres decisions que giren al voltant d'aquests greixos i dels àcids grassos *trans*. Des del 2006, en una sèrie de països sud-americans com

l'Argentina, Xile o el Paraguai, l'etiquetatge dels àcids grassos *trans* és obligatori. La mateixa decisió es va prendre en diversos països asiàtics: Corea del Sud (2007), Taiwan (2008), Hong Kong (2010).

Aquesta pressió ha desafiat la indústria alimentària a trobar substituïts viables per a aquests greixos. Per buscar l'acceptació del consumidor, s'ha treballat des del punt de vista tecnològic, minimitzant l'impacte sobre les propietats físiques i sensorials dels productes finals, i des de l'enfocament a la salut, doncs, la disminució dels àcids grassos *trans* és gràcies a la reformulació dels aliments i les estratègies tecnològiques per reemplaçar la hidrogenació parcial.

Entre les més destacables trobem la barreja, la interterificació i el fraccionament de greixos vegetals. Aquest últim és un procés de modificació que es basa en una separació física per solidificació selectiva de fraccions amb diferent interval de fusió i composició en triacilglicerols. El més important és el de la mantega de palma (actualment anomenada *oli de palma*). La mantega de palma té un punt de fusió de 38 °C i un percentatge d'àcids grassos saturats del 50 %, que permet obtenir fraccions amb punts de fusió que oscil·len entre els 60 °C i els 5 °C. Aquest rang obre un ventall d'aplicacions molt gran i replica les propietats funcionals dels greixos parcialment hidrogenats, i es poden aconseguir resultats de plasticitat i perfils de fusió similars.

Tot i que l'oli de palma, gràcies a les seves característiques excepcionals, és la solució més versàtil per a la reducció de greixos *trans*, suposa un problema de sostenibilitat.

L'oli de palma té la producció i la productivitat més altes dels greixos vegetals. De l'any 1994 al 2021, la producció mundial ha augmentat un 600 %; ha passat de 14,72

«L'oli de palma té la producció i la productivitat més altes dels greixos vegetals.»

a 80,58 milions de tones l'any. La palma es cultiva durant tot l'any i els principals productors són Malàisia i Indonèsia, seguits per Tailàndia i països sud-americans com el Brasil o Colòmbia, entre d'altres, que declaren la producció d'oli de palma com un sector estratègic per al país. La gran demanda de la indústria i la competència entre països condueixen inevitablement a la desforestació. I és que l'expansió de monocultius industrials com el de palma provoca gairebé el 50 % de la desforestació mundial, cosa que incideix directament en la biodiversitat, les emissions de CO₂, la qualitat de l'aigua i la qualitat de vida dels nadius.

La demanda per part dels consumidors de productes sense oli de palma, l'escassetat global de greixos vegetals amb un punt de fusió elevat i l'increment de preus a causa de la situació postpandèmia i el conflicte bèl·lic entre Rússia i Ucraïna, conjuntament amb els factors climàtics sense precedència, tornen a posar entre les cordes la indústria alimentària, que es veu amb la necessitat de buscar alternatives per substituir l'oli de palma.

En aquest treball de recerca bibliogràfica es presenta la hidrogenació total com una alternativa viable a aquests greixos. La hidrogenació total dona com a resultat una conversió gairebé total dels greixos insaturats a saturats i implica una formació mínima d'àcids grassos *trans*. A causa d'aquest alt contingut de greix saturat, el greix totalment hidrogenat és un greix dur que no es fon a temperatura corporal i que genera una sensació cerosa en boca inacceptable. Per aquestes característiques, l'enfo-

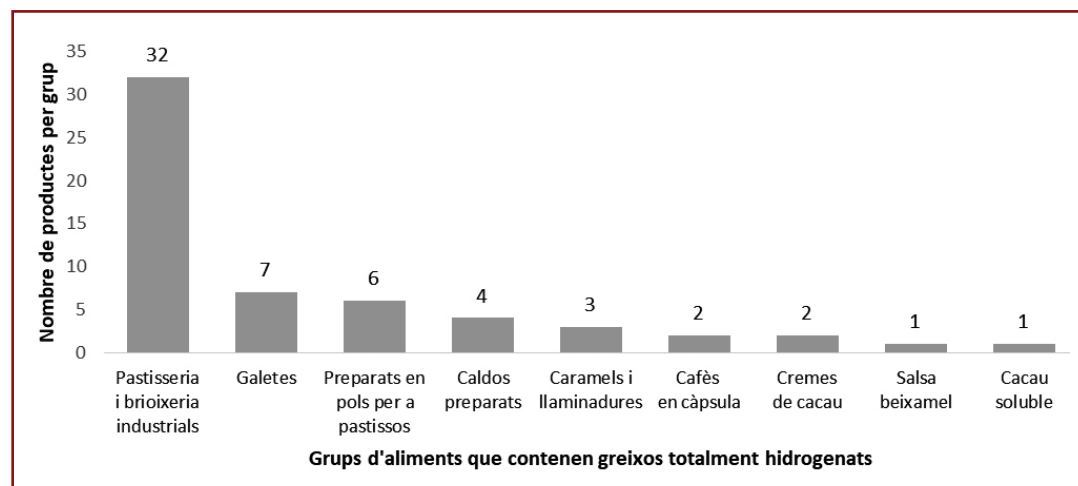


Figura 1. Nombre i grups d'aliments del supermercat en línia Carrefour que contenen greixos totalment hidrogenats.
Font: Elaboració pròpia.

cament i les aplicacions d'aquest greix en la formulació d'aliments són molt específics.

Actualment, però, la interesterificació química de barreges de greixos vegetals totalment hidrogenats amb olis vegetals resulta ser una opció viable per produir productes grassos lliures d'oli de palma i amb concentracions molt baixes d'àcids grassos *trans*, que pot aconseguir en teoria les mateixes aplicacions que ens ofereixen les fraccions sòlides o semisòlides de l'oli de palma. És per això que la utilització de la hidrogenació total és una realitat en el mercat alimentari.

Així, amb l'objectiu d'avaluar l'ús dels greixos totalment hidrogenats a la península Ibèrica com a alternativa als greixos parcialment hidrogenats i a l'oli de palma en la formulació d'aliments, s'ha dut a terme un estudi de mercat preliminar. En aquest estudi, s'han analitzat els aliments que ven Carrefour en el seu supermercat en línia (segon supermercat en línia amb més quota de mercat a Espanya) que tenen més probabilitat de tenir greixos totalment hidrogenats en la seva formulació.

Per tal d'obtenir les dades de l'estudi, s'ha utilitzat la tècnica del raspap d'informació (*web scraping*), que es basa a extreure informació d'una web mitjançant un programari específic. L'extracció de dades es va desenvolupar fent servir el llenguatge de programació Python, i les dades obtingudes es van poder descarregar en un arxiu Excel per tractar-les.

Es van analitzar un total de 6.499 productes, dels quals només 58 contenien greixos totalment hidrogenats a la llista d'ingredients. D'aquests, 32 eren productes de pastisseria i brioixeria industrials, com ara pastissos, croissants, berlines, palmeres i milfulles, que representaven aproximadament el 55 % del total d'aliments que contenen aquests greixos. La resta es repartien en grups més petits, relacionats també amb productes de confiteria, pastisseria i rebosteria, excepte els caldos preparats, els caramels i laminadures, els derivats del cacau, els cafès en càpsula i la salsa beixamel (figura 1).

Per tal de poder-nos apropar a la relació de la indústria alimentària amb els greixos totalment hidrogenats, part del treball es va elaborar amb la col·laboració de Vandemoortele Ibérica, SA, productora de greixos vegetals cristal·litzats i responsable del 60 % de les vendes en el mercat dels greixos vegetals per a la indústria alimentària a escala nacional. Aproximadament, venen unes 49.000 tones/any d'aquests greixos a la indústria i només un 3 % del total són greixos vegetals totalment hidrogenats.

Les característiques funcionals d'aquests nous productes grassos no concorden amb les necessitats tecnològiques dels productors d'aliments que empren aquests tipus de greixos, ja que, per la seva difícil cristal·lització, els greixos vegetals totalment hidrogenats interesterificats amb altres greixos vegetals no presenten les propietats reològiques i organolèptiques més adequades. Així ho demostren les quotes de mercat dels greixos vegetals, molt baixes per als greixos totalment hidrogenats i l'estudi preliminar de mercat realitzat (en què només un 0,9 % dels productes analitzats contenen greixos totalment hidrogenats). També juga en contra d'aquests greixos l'obligació de declarar-ne la presència en la llista d'ingredients, ja que la majoria dels consumidors no saben diferenciar el contingut en àcids grassos *trans* dels greixos vegetals totalment i parcialment hidrogenats i això fa que algunes empreses alimentàries siguin reticents a usar-los en la formulació dels seus aliments.

Els pròxims anys, les emergents preocupacions socials i mediambientals conjuntament amb l'evolució d'aquestes tecnologies i productes marcaran el rumb de la indústria dels olis i greixos vegetals alimentaris.

REFERÈNCIES

- CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY (CFIA) (2017). «Notice of modification - Prohibiting the use of partially hydrogenated oils (PHOs) in foods» [en línia]. <<https://inspection.canada.ca/en/food-safety-industry/food-safety-standards-guidelines/notice-modification-phos>> [Consulta: 21 juny 2024].
- DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (2018). *Code of federal regulations. Title 21. Part 172* [en línia]. <<https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-172>> [Consulta: 21 juny 2024].
- DESTAILLATS, F.; WANG, Y. F.; BAER, D. J. (2014). «Natural versus industrial *trans* fatty acids». A: KODALI, D. R. (ed.). *Trans fats replacement solutions*. Londres: Elsevier, p. 41-59. <<https://doi.org/10.1016/B9780983079156.50007-1>>.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA) (2018). «Scientific and technical assistance on *trans* fatty acids». *EFSA Supporting Publications* [en línia], 15 (6), 1433E. <<https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2018.EN-1433>>.
- FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE INDUSTRIAS DE ALIMENTACIÓN Y BEBIDAS (2020). *Ácidos grasos trans en los alimentos: orientaciones para los operadores*. Madrid: FIAB.
- KELLENS, M.; GIBON, V.; HENDRIX, M.; GREYT, W. de (2007). «Palm oil fractionation». *European Journal of Lipid Science and Technology* [en línia], 109, p. 336-349. <<https://doi.org/10.1002/ejlt.200600309>>.
- MARTIN, C. A.; MILINSK, M. C.; VISENTAINER, J. V.; MATSUSHITA, M.; SOUZA, N. E. de (2007). «*Trans* fatty acid-forming processes in foods: A review». *Anais da Academia Brasileira de Ciências* [en línia], 79, p. 343-350. <<https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000200015>>.
- MCNEILL, G. P. (2014). «Processing solutions: Fractionation and blended oils». A: KODALI, D. R. (ed.). *Trans fats replacement solutions* [en línia]. Londres: Elsevier, p. 123-138. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-9830791-5-6.50011-3>>.

«Reglamento (UE) 2019/649 de la Comisión, de 24 de abril de 2019, que modifica el anexo III del Reglamento (CE) 1925/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a las grasas *trans*, que no sean las grasas *trans* presentes de forma natural en las grasas de origen animal». *Diario Oficial de la Unión Europea*, L110, p. 17-20.

RIBEIRO, A. P. B.; GRIMALDI, R.; GIOIELLI, L. A.; SANTOS, A. O. dos, CARDOSO, L. P.; GONÇALVES, L. A. G. (2009). «Thermal behavior, microstructure, polymorphism, and crystallization properties of zero *trans* fats from soybean oil and fully hydrogenated soybean oil». *Food Biophysics* [en línea], 4, p. 106-118. <<https://doi.org/10.1007/s11483-009-9106-y>>.

SILVA, T. J.; BARRERA-ARELLANO, D.; RIBEIRO, A. P. B. (2021). «Margarines: Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global

trends». *Food Research International* [en línea], 147, 110486. <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110486>>.

WANG, F. C.; GRAVELLE, A. J.; BLAKE, A. I.; MARANGONI, A. G. (2016). «Novel *trans* fat replacement strategies». *Current Opinion in Food Science* [en línea], 7, p. 27-34. <<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.006>>.

WESDORP, L. H.; MELNIKOV, S. M.; GAUDIER, E. A. «*Trans* fats replacement solutions in Europe». A: KODALI, D. R. (ed.). *Trans fats replacement solutions*. Londres: Elsevier, p. 287-312.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. «Countdown to 2023: WHO report on global *trans*-fat elimination 2021» [en línea]. <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240031876>> [Consulta: 21 juny 2024].

Elaboració d'un receptari per a pacients amb disfàgia



ABRIL RIGALL FORÉS

Graduada en nutrició humana i dietètica i guardonada amb el Premi María del Carmen de la Torre Boronat.

La deglució és un procés fisiològic complex que permet el pas dels aliments des de la boca fins a l'estómac (Costanzo, 2010). Quan aquest procés es veu alterat, ja sigui per dificultat en la formació del bol alimentari o en el seu trànsit cap a l'estómac, parlem de *disfàgia*. Aquesta condició pot afectar tant aliments sòlids com líquids, i té un impacte significatiu en la qualitat de vida de les persones que en pateixen (Albrecht i Nusser-Müller-Busch, 2023).

La disfàgia és una afecció amb una prevalença notable, especialment en persones d'edat avançada, segons dades del Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya. A Espanya, s'estima que dos milions de persones pateixen disfàgia, però només un 10 % d'aquests individus reben un diagnòstic i tractament adequats. Aquesta xifra alarmant posa de manifest la necessitat de millorar la detecció i el maneig d'aquesta condició (Alcalde Muñoz, Ricote Belinchón i Rodríguez, 2020).

El diagnòstic precís és fonamental per identificar el tipus d'alteració, la seva causa subjacent i avaluar la seguretat de la deglució. Aquesta avaluació determina si la persona pot alimentar-se per via oral sense restriccions o si, per contra, és necessari modificar la textura de la dieta. De fet, la modificació de la dieta constitueix el tractament principal per a la disfàgia, amb l'objectiu primordial d'adaptar la textura dels aliments i els líquids per facilitar la deglució i prevenir complicacions com l'aspiració, la desnutrició i la deshidratació (Molina Gil *et al.*, 2021).

Tanmateix, la creació de dietes amb textura modificada per a pacients amb disfàgia presenta reptes significatius per assegurar una ingesta adequada dels requeriments energètics, proteics, de micronutrients i líquids. Sovint, aquestes dietes donen com a resultat plats monòtons i poc atractius, fet que pot afectar negativament l'acceptació per part del pacient. Per tant, l'acceptabilitat de la dieta amb textura modificada és un factor crucial

per a l'èxit del tractament (Pérez-Cruz *et al.*, 2016; Wright *et al.*, 2005).

En aquest sentit, Merino *et al.* (2021) van dur a terme un estudi utilitzant el mètode CATA (anàlisi sensorial qualitativa atributiva), una tècnica per avaluar quines són les característiques sensorials que han de presentar els plats adaptats en textura modificada per millorar l'acceptació per part del pacient. Les característiques clau identificades són les següents:

- Aspecte homogeni: els plats han de presentar una textura uniforme, sense trossos grans ni grumolls, per facilitar la deglució i millorar l'aspecte visual.
- Facilitat de deglució: la textura dels aliments ha de ser suau i homogènia, permetent una deglució segura i eficient.
- Sabor: és essencial que els plats siguin saborosos i conservin característiques tradicionals, per garantir el plaer en menjar.
- Presentació: una presentació atractiva, que permeti identificar els aliments, pot augmentar la motivació i l'interès del pacient per menjar.

Amb aquests atributs sensorials també millora l'avaluació dels plats per part de les persones no disfàgiques, cosa que demostra que la millora de la textura no només beneficia els pacients amb disfàgia, sinó que també fa que els plats siguin més agradables per a tothom (Merino *et al.*, 2021).

«La disfàgia és una afecció amb una prevalença notable, especialment en persones d'edat avançada.»

A partir d'aquests criteris, sorgeix la proposta d'innovar en l'àmbit culinari mitjançant la creació d'un receptari de cuina tradicional catalana adaptat a les necessitats dels pacients amb disfàgia. L'objectiu principal d'aquesta iniciativa és millorar l'adaptació de la dieta de textura modificada, oferint opcions culinàries saboroses, atractives i segures per a aquests pacients.

Les festivitats catalanes són moments de celebració i reunió familiar en què la gastronomia ocupa un lloc central. Cada festa compta amb els seus plats tradicionals, que constitueixen una part essencial del patrimoni cultural. Per això, aquest receptari s'ha concebut amb la voluntat d'incloure plats tradicionals de les festivitats catalanes, adaptats a les necessitats de les persones amb disfàgia, perquè aquesta condició no sigui un impediment per gaudir de la gastronomia en aquestes ocasions especials. A través de la reinterpretació dels plats tradicionals amb tècniques i textures adaptades, es garanteix que ningú no quedi exclòs de la taula, preservant així la riquesa de la cultura gastronòmica catalana i permetent que tothom participi plenament en les celebracions.

La innovació culinària ha estat possible gràcies a la combinació de diverses eines: els texturitzants nous, els motlles i la impressora 3D.

Els texturitzants permeten modificar la consistència dels aliments i adaptar-los a les necessitats de cadascú. Així és possible garantir una alimentació segura sense renunciar al sabor i als nutrients.

Els motlles faciliten donar forma als aliments i els fan més similars als originals.

La impressora 3D és un dispositiu tecnològic que permet crear formes i plats personalitzats. A través d'un programari de disseny 3D, diposita capes successives de l'aliment fins a crear la forma desitjada. Aquesta tecnologia revolucionària permet crear formes i presentacions innovadores, millorar l'aspecte visual dels plats i augmentar l'interès per menjar.

La sinergia entre aquestes tres innovacions gastronòmiques obre un ventall de possibilitats en l'àmbit de la cuina terapèutica.

El receptari ha resultat un èxit, ja que s'han pogut transformar satisfactòriament tots els plats del receptari. Pel que fa a l'acceptabilitat dels plats per part de participants sense disfàgia, s'ha obtingut una valoració molt positiva en termes d'homogeneïtat, facilitat de deglució, sabor, presentació i originalitat. Aquests resultats indiquen que els plats adaptats conserven les característiques essencials de la cuina tradicional catalana, alhora que compleixen els requisits necessaris per a una deglució segura i agradable.

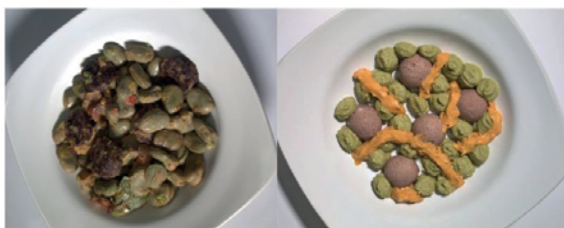
Entrant: calçots amb salsa romesco



Segon plat: canelons



Primer plat: faves a la catalana



Postres: panellets de codony



Figura 1. Exemples de plats del receptari per a pacients amb disfàgia.
Font: Imatges de l'autora.

Finalment, aquest treball demostra que és possible adaptar la tradició culinària a les necessitats individuals, sense renunciar al sabor, la qualitat i l'experiència de menjar. I evidència com la innovació culinària i el disseny acurat d'un receptari, que tingui en compte les necessitats específiques dels pacients amb disfàgia, poden generar un impacte profundament positiu en la vida d'aquests pacients.

A la figura 1 es mostren quatre exemples de plats del receptari per a pacients amb disfàgia. A la part esquerra de cada parella es pot veure el plat original, mentre que a la dreta es veu el mateix plat però modificat en textura per facilitar la deglució.

REFERÈNCIES

- ALBRECHT, S.; NUSSE-MÜLLER-BUSCH, R. (2023). «Multiple Einflussfaktoren bei Dysphagie: Erweiterte Aufgaben für das interprofessionelle Team auf der Intensivstation». *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin* [en línia], 119, p. 56-62. <<https://doi.org/10.1007/s00063-023-01075-y>>.
- ALCALDE MUÑOZ, S.; RICOTE BELINCHÓN, M.; RODRÍGUEZ, R. (2020). *Guía de disfagia: Manejo de la disfagia en AP*. S. Il.: Sociedad Española de Médicos de Atención Primaria.
- COSTANZO, L. S. (2010). *Physiology*. 4a ed. Londres: Saunders; Elsevier.
- MERINO, G.; MARÍN-ARROYO, M. R.; BERIAIN, M. J.; IBAÑEZ, F. (2021). «Dishes adapted to dysphagia: Sensory characteristics and their relationship to hedonic acceptance». *Foods*, 10 (2), 480.
- MOLINA GIL, B.; GUERRA BLANCO, F. J.; GUTIÉRREZ FONSECA, R. (2021). «Disfagia y aspiración». A: *Libro virtual de formación en ORL*. Madrid: Fundación Jiménez Díaz, capítol 120, p. 1-26.
- MUÑOZ, A.; BARRIENTOS-JIMÉNEZ, M.; CAMACHO-GUERRA, C. D.; TAPIA-GÓMEZ, Y.; TORRES-GONZÁLEZ, K. O.; URIBE-QUIROZ, G. (2018). «Evaluación de la disfagia en pacientes con enfermedades neurológicas y su relación con riesgo de desnutrición». *Medicina Interna de México* [en línia], 34 (3), p. 359-365. <<https://doi.org/10.24245/mim.v34i3.1815>>.
- PALMER, J., DRENNAN, J.; BABA, M. (2000). «Evaluation and treatment of swallowing impairments». *American Family Physician*, 61 (8), p. 2453-2462.
- PARK, J.-W.; LEE, H.-J.; KIM, I.-J. (2016). «Fork test: A new simple and reliable consistency measurement for the dysphagia diet». *Geriatric Nursing* [en línia], 37 (2), 292-295. <<https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2016.04.011>>.
- PEREA, P. J. (2021). *Disfagia y logopedia. Modificación de texturas y/o consistencias*. La Salle, Clínica Universitaria [en línia]. <<https://www.irflasalle.es/disfagia-y-logopedia-modificacion-de-texturas-y-o-consistencias/>> [Consulta: 25 març 2025].
- PÉREZ-CRUZ, E.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, A.; BARRIENTOS-JIMÉNEZ, M.; CAMACHO-GUERRA, C. D.; TAPIA-GÓMEZ, Y.; TORRES-GONZÁLEZ, K. O.; URIBE-QUIROZ, G.; PÉREZ-CRUZ, E.; GONZÁLEZ-ROMMEL, N.; HAMDY, S. (2016). «Oropharyngeal dysphagia: Manifestations and diagnosis». *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology* [en línia], 13 (1), p. 49-59. <<https://doi.org/10.1038/nrgastro.2015.199>>.
- VESGA VARELA, A. L.; GAMBOA DELGADO, E. M. (2015). «Riesgo de malnutrición asociado a baja ingesta alimentaria, estancia hospitalaria prolongada y reingreso en un hospital de alto nivel de complejidad en Colombia». *Nutrición Hospitalaria* [en línia], 3, p. 1308-1314. <<https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9416>>.
- WRIGHT, L.; COTTER, D.; HICKSON, M.; FROST, G. (2005). «Comparison of energy and protein intakes of older people consuming a texture modified diet with a normal hospital diet». *Journal of Human Nutrition and Dietetics* [en línia], 18 (3), p. 213-219. <<https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2005.00605.x>>.

Índex i càrrega glucèmica dietètica durant l'embaràs i resultats conductuals de la descendència: explorant les diferències de sexe

ESTHER CENDRA-DUARTE,^{1,2} JOSEFA CANALS,^{1,2,3} NEREA BECERRA-TOMÁS,^{1,3} JAVIER MATEU-FABREGAT,^{3,5,6} MÓNICA BULLÓ^{3,5,6,7} I VICTORIA ARIJA^{1,2,3}

¹ Universitat Rovira i Virgili, Departament de Ciències Mèdiques Bàsiques, Unitat de Salut Pública i Epidemiologia Nutricional, Grup de Recerca en Nutrició i Salut Mental (NUTRISAM), Reus.

² Grup de Recerca Col·laboratiu en Estils de Vida, Nutrició i Tabaquisme (CENIT), Institut d'Investigació en Atenció Primària Jordi Gol (IDIAP), Institut Català de la Salut (ICS), Reus.

³ Institut d'Investigació Sanitària Pere Virgili (IISPV), Tarragona.

⁴ Universitat Rovira i Virgili, Departament de Psicologia, Centre de Recerca en Avaluació i Mesura de la Conducta (CRAMC), Tarragona.

⁵ Universitat Rovira i Virgili, Departament de Bioquímica i Biotecnologia, Grup de Recerca en Nutrició i Salut Metabòlica (NuMeH), Reus.

⁶ Centre de Tecnologia Ambiental, Alimentària i Toxicològica (TECNATOX), Universitat Rovira i Virgili, Reus.

⁷ CIBER de Fisiopatologia de l'Obesitat i la Nutrició (CIBEROBN), Institut de Salut Carles III, Madrid.

La nutrició durant l'embaràs té un paper clau en el desenvolupament del cervell del fetus. Una aportació insuficient de nutrients en aquesta etapa pot augmentar el risc de patologies neurològiques futures. A més, les necessitats nutricionals de la dona embarassada s'incrementen, especialment pel que fa als hidrats de carboni, que són la principal font d'energia tant per a la mare com per al fetus.

Els hidrats de carboni són imprescindibles per al creixement dels teixits i el desenvolupament cel·lular. La glucosa, en concret, pot travessar la placenta i és vital per al desenvolupament cerebral, tot i que el seu efecte depèn tant de la quantitat com de la qualitat dels carbohidrats consumits. Per tal de valorar aquest impacte, s'utilitzen indicadors com l'índex glucèmic (IG) i la càrrega glucèmica (CG). L'IG indica l'augment dels nivells de glucosa a la sang després de consumir aliments que contenen hidrats de carboni, i la CG combina aquest IG amb la quantitat total d'hidrats de carboni ingerits, amb la qual cosa es proporciona una mesura més completa.

Com que els hidrats de carboni poden influir en el metabolisme de la glucosa i la insulina, uns nivells elevats

d'IG i CG durant l'embaràs s'han associat amb resultats antropomètrics adversos en la descendència, com un major pes en néixer i una major adipositat durant la infància. Tanmateix, més enllà d'aquestes conseqüències físiques, només un estudi previ ha avaluat la relació entre els nivells de CG durant el període periconcepcional i els problemes de comportament a l'edat de 2 anys, i ha trobat resultats negatius a valors més alts de CG en aquesta etapa. Degut a la poca recerca en aquest àmbit, l'objectiu del nostre estudi va ser avaluar l'associació entre l'IG i la CG de la dieta durant l'embaràs, mesurats en el primer i tercer trimestres, i els problemes de conducta en nens de 4 anys, tenint en compte possibles diferències segons el sexe.

L'estudi es va dur a terme amb 188 dones embarassades que participaven en l'assaig clínic ECLIPSES, realitzat a

**«Els hidrats de carboni
són imprescindibles
per al creixement dels teixits
i el desenvolupament cel·lular.»**

la província de Tarragona (Catalunya, Espanya). L'IG i la CG es van calcular a partir d'un qüestionari de freqüència de consum validat, que les participants van omplir a les setmanes 12 i 36 de gestació, en què indicaven el consum setmanal i mensual de 45 aliments concrets. A partir d'aquestes dades, es van estimar els grams diaris consumits, les calories i els nutrients, i es van calcular els valors totals d'IG i CG de la dieta. La CG total es va calcular tenint en compte la quantitat de carbohidrats de cada aliment i el seu IG, i sumant el total dels aliments consumits. L'IG total es va estimar valorant la proporció de carbohidrats i l'IG de cada aliment en relació amb el total ingerit. Els valors d'IG i CG es van dividir en tres nivells: baixos, mitjans i alts.

Els problemes de conducta dels infants es van avaluar mitjançant el qüestionari *Child behavior checklist* (CBCL) per a nens d'1,5 a 5 anys. Aquest qüestionari inclou 99 preguntes sobre aspectes emocionals, conductuals i socials del nen, valorades en una escala de tres punts (no és cert, una mica cert, molt cert), que contesten els pares. A partir de les respostes, s'obtenen puntuacions que indiquen si l'infant té dificultats en diferents escales, com l'ansietat i depressió, retraïment, agressivitat o problemes d'atenció. També s'obtenen puntuacions generals: problemes interns (com l'ansietat i depressió), problemes externs (com la conducta agressiva) i problemes totals, que engloben els interns i externs. A més, també s'avaluen escales de símptomes relacionats amb problemes com el trastorn de l'espectre autista (TEA) i el trastorn per dèficit d'atenció i hiperactivitat (TDAH). Una puntuació més alta indica que l'infant té més dificultats en aquella àrea en concret i, quan les puntuacions superen uns límits establerts, s'anomenen *puntuacions clíniques*, que indiquen que l'infant presenta dificultats o símptomes que podrien requerir una avaluació més profunda o intervenció professional.

Per tal d'avaluar l'associació entre els nivells d'IG i CG de la mare i els problemes de comportament dels infants, es van utilitzar models de regressió multivariables lineals i logístics, ajustats per altres dades importants de la mare i l'infant, com l'edat i el nivell educatiu de la mare, el pes i guany de pes durant l'embaràs, els hàbits de vida de la mare (consum de tabac, alcohol, activitat física), el seu estat emocional, el pes i sexe de l'infant en néixer, la lactància materna i la qualitat de la dieta del nen als 4 anys. A més, es va analitzar si hi havia diferències segons el sexe de l'infant mitjançant anàlisis estratificades.

Els resultats de l'estudi van indicar que els infants de mares amb una CG alta durant el primer trimestre d'em-

baràs presentaven puntuacions més elevades en diverses escales del CBCL, en comparació amb els infants de mares amb uns valors de CG baixos o mitjans. Es van observar problemes tant interns (ansietat o depressió i retraïment) com externs (problemes d'atenció i comportament agressiu) i relacionats amb trastorns de TEA i TDAH. A més, els models de regressió logística van mostrar que aquests infants tenien més probabilitat de presentar puntuacions clíniques en aquestes escales esmentades. En canvi, no es van trobar associacions significatives entre la CG en el tercer trimestre ni entre l'IG (en cap dels dos trimestres) i els problemes de conducta.

Pel que fa a les diferències per sexe, les nenes van mostrar una major sensibilitat als efectes de la CG elevada durant el primer trimestre en comparació amb els nens. En concret, van obtenir puntuacions més altes en problemes d'ansietat o depressió, comportament agressiu, i problemes relacionats amb el TDAH. En el cas dels nens, una CG alta en el primer trimestre només es va associar amb puntuacions elevades dels problemes de TDAH.

Aquests resultats coincideixen amb altres estudis que apunten que un consum elevat de sucres (com la fructosa, la sacarosa o begudes ensucrades) durant l'embaràs pot augmentar el risc de problemes d'ansietat, hiperactivitat i dificultats en el desenvolupament emocional i social dels nens. Una possible explicació és que les fluctuacions en els nivells de glucosa materna, donat que travessa la placenta, poden alterar el metabolisme fetal i afectar negativament el desenvolupament del fetus, especialment del cervell. Aquest òrgan necessita un subministrament adequat de glucosa per a processos vitals com la producció d'energia, el manteniment cel·lular i la síntesi de neurotransmissors. Un excés de glucosa pot desencadenar processos com estrès oxidatiu, hipòxia, hiperinsulinèmia i inflamació sistèmica, i provocar danys al cervell i a la funcionalitat de l'hipocamp, una àrea crucial en la regulació emocional i del comportament.

Un aspecte rellevant és que l'efecte advers de la CG elevada només es va observar durant el primer trimestre, una etapa especialment crítica per al desenvolupament cerebral, ja que s'hi produeixen processos com la formació del tub neural, la neurulació i la migració cel·lular. Aquesta etapa de la gestació es caracteritza per una major vulnerabilitat als factors ambientals i nutricionals, fet que pot predisposar a l'aparició de trastorns del desenvolupament.

lupament neuronal. A més, l'estudi també destaca diferències de sexe: l'associació de la CG elevada durant el primer trimestre amb resultats conductuals adversos va ser més pronunciada en les nenes. Algunes investigacions suggereixen que els fetus femenins poden ser més vulnerables a les alteracions metabòliques i a un excés de glucosa i sucres materns, possiblement degut a diferències en factors de creixement, hormonal o en l'expressió gènica a la placenta.

Com a conclusió, en aquest estudi s'ha observat que una CG més elevada durant l'inici de l'embaràs pot estar associada a un augment del risc de problemes de comportament en els infants, especialment en les nenes, a l'edat de 4 anys. No es van detectar associacions significatives amb l'IG. Atès que aquest és un dels primers estudis a descriure aquesta relació, cal realitzar més recerca per confirmar aquests resultats i aprofundir en les possibles diferències de sexe en el desenvolupament neuronal infantil.

REFERÈNCIES

- ALICK, C. L.; MAGUIRE, R. L.; MURPHY, S. K.; FUERMELER, B. F.; HOYO, C.; HOUSE, J. S. (2021). «Periconceptional maternal diet characterized by high glycemic loading is associated with offspring behavior in NEST». *Nutrients* [en línia], 13 (9), 3180. <<https://doi.org/10.3390/NU13093180/S1>>.
- ARIJA, V.; FARGAS, F.; MARCH, G.; ABAJO, S.; BASORA, J.; CANALS, J.; RIBOT, B.; APARICIO, E.; SERRAT, N.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, C. [et al.] (2014). «Adapting iron dose supplementation in pregnancy for greater effectiveness on mother and child health: Protocol of the ECLIPSES randomized clinical trial». *BMC Pregnancy Childbirth* [en línia], 14 (33). <<https://doi.org/10.1186/1471-2393-14-33>>.
- AUGUSTIN, L. S. A.; KENDALL, C. W. C.; JENKINS, D. J. A.; WILLETT, W. C.; ASTRUP, A.; BARCLAY, A. W.; BJÖRCK, I.; BRAND-MILLER, J. C.; BRIGHENTI, F.; BUYKEN, A. E. [et al.] (2015). «Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An international scientific consensus summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC)». *Nutr Metab Cardiovasc Dis* [en línia], 25, p. 795-815. <<https://doi.org/10.1016/J.NUMECD.2015.05.005>>.
- CORTÉS-ALBORNOZ, M. C.; GARCÍA-GUÁQUETA, D. P.; VELEZ-VAN-MEERBEKE, A.; TALERO-GUTIÉRREZ, C. (2021). «Maternal nutrition and neurodevelopment: A scoping review». *Nutrients* [en línia], 13 (10), 3530. <<https://doi.org/10.3390/NU13103530>>.
- DEARDEN, L.; BOURET, S. G.; OZANNE, S. E. (2018). «Sex and gender differences in developmental programming of metabolism». *Mol Metab* [en línia], 15, p. 8-19. <<https://doi.org/10.1016/J.MOLMET.2018.04.007>>.
- DOI, M.; USUI, N.; SHIMADA, S. (2022). «Prenatal environment and neurodevelopmental disorders». *Front Endocrinol (Lausanne)* [en línia], 13, 860110. <<https://doi.org/10.3389/fendo.2022.860110>>.
- KVALVIK, L. G.; KLUNGSØYR, K.; IGLAND, J.; CASPERSEN, I. H.; BRANTSÆTER, A. L.; SOLBERG, B. S.; HARTMAN, C.; SCHWREN, L. J. S.; LARSSON, H.; LI, L. [et al.] (2022). «Association of sweetened carbonated beverage consumption during pregnancy and ADHD symptoms in the offspring: A study from the Norwegian mother, father and child cohort study (MoBa)». *Eur J Nutr* [en línia], 61, p. 2153-2166. <<https://doi.org/10.1007/S00394-022-02798-Y>>.
- MOUSA, A.; NAQASH, A.; LIM, S. (2019). «Macronutrient and micronutrient intake during pregnancy: An overview of recent evidence». *Nutrients* [en línia], 11 (2), 443. <<https://doi.org/10.3390/NU11020443>>.
- ZOU, Y.; GUO, Q.; CHANG, Y.; ZHONG, Y.; CHENG, L.; WEI, W. (2023). «Effects of maternal high-fructose diet on long non-coding RNAs and anxiety-like behaviors in offspring». *Int J Mol Sci* [en línia], 24 (5), 4460. <<https://doi.org/10.3390/ijms24054460>>.

Potencial de l'electropolvorització en la indústria alimentària

BERNAT PEREZ-PLAYÀ



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.

ANNA ZAMORA



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.

LLIBERTAT ABAD



Institut de Microelectrònica de Barcelona (IMB-CNM-CSIC).

MANUEL CASTILLO



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona.

1. INTRODUCCIÓ

El fenomen de l'atomització electrohidrodinàmica (EHDA: *electro-* fa referència a l'energia elèctrica; *hidro-* dinàmica, a la dinàmica dels fluids, i *atomització*, a la conversió d'un líquid en gotes fines) és una tecnologia que permet transformar un líquid en gotes fines (electropolvorització) o fibres (electrofilatura) utilitzant un camp elèctric intens a temperatura ambient. El procés EHDA evita el dany tèrmic, és senzill, econòmic, flexible, i pot produir fibres o partícules a escala micro-, sub- i nanomètrica. L'ús de camps elèctrics modifica la microestructura dels productes obtinguts, canviant-ne les propietats funcionals (Bhushani i Anandharamakrishnan, 2014; Xie *et al.*, 2014).

L'electropolvorització és una tècnica que permet generar gotes molt fines i de mida monodispersada a partir d'un líquid sotmès a un camp elèctric (Barrero i Loscertales, 2007). L'energia d'un camp elèctric intens, de l'ordre dels $\text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$, es fa servir per aconseguir la separació de microgotes. Diversos paràmetres influeixen en aquest procés, com ara les propietats de la solució (tensió superficial, viscositat i conductivitat elèctrica), així com les condicions operatives (voltatge aplicat i distància agulla-col·lector, que determina l'estructura del camp elèctric). També cal considerar les condicions ambientals, com la temperatura de la cambra i el flux d'aire, que poden influir en el rendiment del procés (Bohr *et al.*, 2013; Monar i Redrován, 2017).

Aquesta tecnologia és objecte d'un ampli estudi en diversos camps, com ara l'enginyeria de teixits i la medicina regenerativa, els sensors nanoestructurats, la indústria tèxtil, la ciència dels materials i la química (Landa, 2017). Tot i això, la utilització d'aquesta tecnologia en el context del processament d'aliments continua essent poc explorada. Les aplicacions potencials dins d'aquest camp d'estudi inclouen l'encapsulació, la immobilització d'enzims, el recobriment d'aliments i el desenvolupament de materials per a la filtració i l'envasament actiu (Bhushani i Anandharamakrishnan, 2014). Un estudi en matrius alimentàries dut a terme per Luo *et al.* (2011) va demostrar que la tècnica d'electrofilatura es pot emprar per modificar la textura i la sensació en boca de les fibres de xocolata. D'altra banda, Perez-Playà (2022) va aplicar la tecnologia d'electropolvorització per concentrar llet desnatada, i va aconseguir eliminar el 50% de l'aigua sense afectar les caseïnes ni les proteïnes sèriques.

2. MECANISME D'ACCIÓ

Un sistema bàsic EHDA consta de quatre components principals: una bomba de xeringa, una xeringa, una agulla metàl·lica, una font d'alta tensió i un col·lector connectat a terra. Quan la solució és impulsada a través de l'agulla sota un camp elèctric elevat, es forma el conegut **con de Taylor** a la seva punta. Aquesta estructura és el resultat de l'equilibri entre la tensió superficial del lí-

quid i les forces generades pel camp elèctric (Zhou i Biswas, 2020).

Els ions presents en el líquid són accelerats cap a l'apex del con a causa del camp elèctric, i això genera que un jet prim s'ejecta des de la punta del con. Aquest jet roman estable fins que les inestabilitats superficials en provoquen la fragmentació en gotes carregades elèctricament (Cloupeau i Prunet-Foch, 1989; Hartman *et al.*, 1999).

Un cop formades les gotes carregades, aquestes experimenten un procés de contracció a causa de l'evaporació del dissolvent. Durant aquest procés, la càrrega elèctrica neta de cada gota es manté constant, de manera que la seva concentració de càrrega augmenta a mesura que la mida de la gota disminueix (Bohr *et al.*, 2013). Quan aquesta concentració elèctrica arriba al límit de Rayleigh, es produeix el fenomen de fissió de Coulomb, en què l'equilibri entre la tensió superficial i les forces elèctriques es trenca, cosa que provoca la fragmentació de la gota en gotes més petites i una vaporització parcial del dissolvent (Zhou i Biswas, 2020).

La formació de partícules es pot donar per dues vies diferents. El solut present dins les gotes es concentra progressivament, cosa que dona lloc a una precipitació sobre la superfície de la gota. Això condueix a la formació d'una closca sòlida, mentre el dissolvent restant s'evapora des de l'interior fins que la partícula queda completament seca (Xue *et al.*, 2010). D'altra banda, si es produeix una sobresaturació homogènia dins de tota la gota, el solut precipita de manera uniforme i forma partícules sòlides (Zhou i Biswas, 2020). La interacció entre la velocitat d'evaporació i la difusió de molècules a l'interior de la gota influeix de manera significativa en les característiques finals de les partícules (Gomez i Deng, 2011).

3. CANVIS EN LES PROPIETATS FÍSICOQUÍMIQUES

Ergin (2022) va dur a terme un estudi en què comparava tres mètodes de deshidratació: l'assecatge per atomització, la liofilització i l'electropolvorització per a la producció de partícules en pols del bacteriòfag Felix O1. L'estudi va revelar que les partícules obtingudes per liofilització presentaven una estructura porosa, formes irregulars i fractures superficials. En canvi, les partícules obtingudes per assecatge per atomització mostraven superfícies enfonsades, mides heterogènies i la presència de partícules petites incrustades dins de partícules més grans, a causa de les altes temperatures i l'evaporació ràpida del dissolvent. Per contra, les partícules generades mitjançant electropolvorització eren més petites, de forma més esfèrica i amb superfícies lliures. Aquestes característiques s'atribueixen a l'ús de fluxos molt baixos i als processos de fissió de Coulomb, que generen un núvol de gotes molt petites i homogènies.

En la llet desnatada, es pot observar un comportament similar quant a mida de partícula. Pel que fa la morfologia, el procés de liofilització presenta el mateix tipus d'estructura que en l'estudi anterior (vegeu la figura 1a). Per una altra banda, les partícules obtingudes per assecatge per atomització presenten una superfície lliura (vegeu la figura 1b), mentre que les partícules electropolvoritzades tenen la superfície enfonsada, ja que l'elevada tensió superficial de l'aigua provoca una deformació estructural degut a un augment de la força de compressió durant l'eliminació de solvent (vegeu la figura 1c) (Gao *et al.*, 2015).

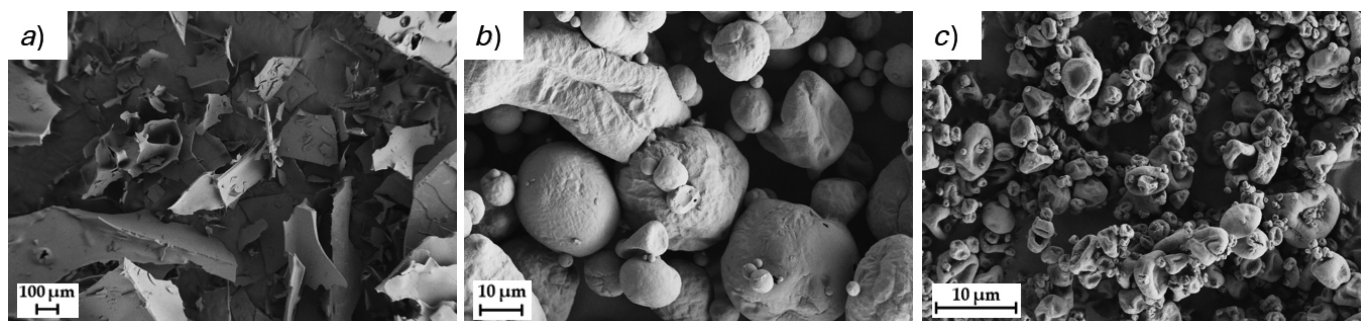


Figura 1. Microscòpia electrònica d'escaneig de partícules de llet en pols desnatada. a) Liofilització. b) Assecatge per atomització. c) Electropolvorització.

Font: Elaboració pròpia.

En el mateix estudi, Ergin (2022) va analitzar la mullabilitat i la solubilitat de les pols del bacteriòfag Felix O1 obtingudes pels tres mètodes. Pel que fa a la mullabilitat, els valors més alts es van observar a la pols obtinguda per electropolvorització, possiblement degut a la seva alta densitat i mida de partícula petita. En referència a la solubilitat, el procés de liofilització va aconseguir millors resultats, atribuïbles a l'estructura porosa. Pel que fa la densitat aparent i la densitat compactada de les pols obtingudes per liofilització i per assecatge per atomització, no es van detectar diferències significatives, en comparació amb les pols produïdes mitjançant electropolvorització, que van mostrar valors més elevats.

A l'estudi de Jayaprakash *et al.* (2023), es va mesurar el temps de reconstitució de les micropartícules mitjançant conductivitat dinàmica. Es va observar que les micropartícules obtingudes per liofilització es rehidrataven més ràpidament que les obtingudes pels altres dos mètodes, gràcies a la seva estructura altament porosa. Les micropartícules produïdes per electropolvorització es rehidrataven més ràpidament que les obtingudes per assecatge per atomització en totes les matrius analitzades. No obstant això, el potencial elèctric aplicat també va influir significativament en el temps de rehidratació segons el tipus de matriu. Per exemple, en el cas de maltodextrina, les micropartícules generades amb un voltatge de 12 kV es rehidrataven més ràpidament que les de 3 kV, mentre que, per a la llet desnatada i la goma aràbiga, el temps de rehidratació s'allargava amb 12 kV.

Finalment, a l'estudi de Ying *et al.* (2023), es van analitzar mostres de nanocristalls de cel·lulosa obtingudes per electropolvorització, liofilització i assecatge per atomització mitjançant anàlisi de calorimetria diferencial d'escaneig. Les mostres obtingudes per electropolvorització van presentar una major estabilitat tèrmica, atribuïble a la presència de cristalls més grans i més alineats, que conferien una estabilitat tèrmica superior.

«L'electropolvorització es presenta com una tecnologia amb un gran potencial per a l'obtenció de partícules amb característiques molt controlades.»

4. CONCLUSIÓ

L'electropolvorització es presenta com una tecnologia amb un gran potencial per a l'obtenció de partícules amb característiques molt controlades. A diferència de la liofilització i l'assecatge per atomització, aquesta tècnica permet generar partícules més petites, uniformes i amb superfícies llises, gràcies a l'acció del camp elèctric i als processos de fissió de Coulomb. Això es tradueix en canvis a les propietats fisicoquímiques, que poden resultar molt útils en aplicacions alimentàries. Tot i que encara es tracta d'una eina poc explotada en aquest sector, els resultats obtinguts fins ara suggereixen que pot esdevenir una alternativa eficient i versàtil per al desenvolupament de nous ingredients per al sector alimentari.

5. AGRAÏMENTS

Aquesta recerca ha utilitzat la xarxa espanyola ICTS Network MICRO-NANOFABS, parcialment finançada per fons FEDER a través del projecte MINATEC-PLUS-2 projecte E FICTS2019-02-40. Els autors també agraeixen la certificació María de Maeztu: CEX2023-001397-M / AEI/10.13039/501100011033 i Generalitat de Catalunya 2021 SGR 00497.

REFERÈNCIES

- BARRERO, A.; LOSCERTALES, I. G. (2007). «Micro- and nanoparticles via capillary flows». *Annual Review of Fluid Mechanics* [en línia], 39 (1), p. 89-106. <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110245>>.
- BHUSHANI, A. J.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. (2014). «Electrospinning and electrospraying techniques: Potential food based applications». *Trends in Food Science and Technology* [en línia], 38 (1), p. 21-33. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.004>>.
- BOHR, A.; BOETKER, J. P.; RADES, T.; YANG, M. (2013). «Application of spray-drying and electrospraying/electrospinning for poorly water-soluble drugs: A particle engineering approach». *Current Pharmaceutical Design* [en línia], 20 (3), p. 325-348. <<http://dx.doi.org/10.2174/13816128113199990399>>.
- CLOUPEAU, M.; PRUNET-FOCH, B. (1989). «Electrostatic spraying of liquids in cone-jet mode». *Journal of Electrostatics* [en línia], 22 (2), p. 135-159. <[https://doi.org/10.1016/0304-3886\(89\)90081-8](https://doi.org/10.1016/0304-3886(89)90081-8)>.
- ERGIN, F. (2022). «Effect of freeze drying, spray drying and electrospraying on the morphological, thermal, and structural properties of powders containing phage Felix O1 and activity of phage Felix O1 during storage». *Powder Technology* [en línia], 404, 117516. <<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117516>>.
- GAO, Y.; ZHAO, D.; CHANG, M.-W.; AHMAD, Z.; LI, X.; SUO, H.; LI, J.-S. (2015). «Morphology control of electrosprayed core-shell particles via collection media variation». *Materials Letters* [en línia], 146, p. 59-64. <<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.02.013>>.
- GOMEZ, A.; DENG, W. (2011). «Fundamentals of cone-jet electrospray». A: KULKARNI, P.; BARON, P. A.; WILLEKE, K. *Aerosol measurement: Principles, techniques, and applications*. 3a ed. Nova York: Wiley, p. 435-448.
- HAN, T.; RENEKER, D. H.; YARIN, A. L. (2007). «Buckling of jets in electrospinning». *Polymer* [en línia], 48 (20), p. 6064-6076. <<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.08.002>>.

- HARTMAN, R. P. A.; BRUNNER, D. J.; CAMELOT, D. M. A.; MARIJNISSEN, J. C. M.; SCARLETT, B. (1999). «Electrohydrodynamic atomization in the cone-jet mode physical modeling of the liquid cone and jet». *Journal of Aerosol Science* [en línia], 30 (7), p. 823-849. <[https://doi.org/10.1016/s0021-8502\(99\)00033-6](https://doi.org/10.1016/s0021-8502(99)00033-6)>.
- JAYAPRAKASH, P.; GAIANI, C.; EDORH, J. M.; BORGES, F.; BEAUPEUX, E.; MAUDHUIT, A.; DESOBRY, S. (2023). «Comparison of electrostatic spray drying, spray drying, and freeze drying for *Lactobacillus rhamnosus* GG dehydration». *Foods* [en línia], 12 (16), 3117. <<https://doi.org/10.3390/foods12163117>>.
- LANDA, G. (2017). *Desarrollo de andamios fibrosos de policaprolactona, condroitín sulfato y ácido hialurónico para regeneración de cartílago* [en línia]. Tesi de màster. Universidad de Zaragoza. <<https://zaguan.unizar.es/record/76326?ln=es>> [Consulta: 14 abril 2025].
- LUO, C.; LOH, S.; STRIDE, E. (2011). «Electrospraying and electrospinning of chocolate suspensions». *Food and Bioprocess Technology* [en línia], 5 (6), p. 2285-2300. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0534-6>>.
- MONAR, D.; REDROVÁN, P. (2017). *Obtención de micropartículas de polivinilpirrolidona (PVP) a través de la técnica de electro spray* [en línia]. Projecte final de carrera. Universidad de las Fuerzas Armadas. Red de Investigadores Ecuatorianos. <<https://redi.cedia.edu.ec/document/370728>> [Consulta: 14 abril 2025].
- PEREZ-PLAYÀ, B. (2022). *Milk solid deposition induced by an electric field: A preliminary study* [en línia]. Tesi de màster. Universitat Autònoma de Barcelona. <<https://ddd.uab.cat/record/259050>> [Consulta: 14 abril 2025].
- XIE, J.; JIANG, J.; DAVOODI, P.; SRINIVASAN, M. P.; WANG, C.-H. (2014). «Electrohydrodynamic atomization: A two-decade effort to produce and process micro-/nanoparticulate materials». *Chemical Engineering Science* [en línia], 125, p. 32-57. <<https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.08.061>>.
- XUE, L.; MAO, L.; CAI, Q.; YANG, X.; JIN, R. (2010). «Preparation of amino acid ester substituted polyphosphazene microparticles via electrohydrodynamic atomization». *Polymers for Advanced Technologies* [en línia], 22 (12), p. 2009-2016. <<https://doi.org/10.1002/pat.1711>>.
- YING, L.; WOON, R.P.; YI, X.; YAU, S.F. (2023). «Electrospray drying-mediated coating of cellulose nanocrystal». *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* [en línia], 6, 100345. <<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100345>>.
- ZHOU, H.; BISWAS, P. (2020). «The prediction of size and charge of particles formed from evaporation of charged droplets generated in an electrospray system». *Chemical Engineering Science* [en línia], 116237. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2020.116237>>.

Insectes en productes extrudits: una aplicació amb gran potencial

ARNAU VILAS-FRANQUESA



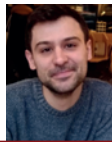
Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), MALTA Consolider Team, Animal and Food Science Department, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra. Professor Lector Serra Húnter.

IDOIA CODINA-TORRELLA



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), MALTA Consolider Team, Animal and Food Science Department, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.

ARTURO BLÁZQUEZ SORO



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), MALTA Consolider Team, Animal and Food Science Department, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Espanya. Professor Lector Serra Húnter.

La necessitat social i ambiental de transformar el sistema alimentari actual i reduir la producció animal ha impulsat l'interès de la indústria alimentària per l'obtenció de noves propostes com a alternatives a la carn, el que s'anomenen *proteïnes alternatives* (Godfray *et al.*, 2024). Actualment ja hi ha al mercat diferents alternatives, anàlegs que intenten suplir els productes carnis mimetitzant-ne les característiques nutricionals, fisicoquímiques, organolèptiques i funcionals. La utilització d'aquestes fonts alternatives de proteïnes s'ha consolidat com una estratègia reeixida i prometedora per al desenvolupament de nous productes alimentaris alineats amb les noves tendències del sector. Entre aquestes alternatives, trobem els insectes, una proposta molt prometedora per a la indústria (Conway *et al.*, 2024).

La producció d'insectes segueix un model sostenible i econòmicament més rendible que la producció de certs productes animals (Vinci *et al.*, 2022). No obstant això, la neofòbia alimentària (també coneguda com el rebuig a aquells productes alimentaris que són nous) segueix sent una barrera important per a la comercialització de productes que contenen insectes, especialment en països on no són consumits habitualment, com són els països europeus. A més a més, la moderada existència d'informació referent als possibles riscos relacionats amb la seva composició i consum (per exemple, presència de micotoxines, pesticides, paràsits, compostos al·lèrgics, etc.), així com la seva relació amb mesures higièniques deficientes, en dificulta l'acceptació (Caparros Megido *et al.*, 2016).

Aplicar tecnologies específiques que puguin emascarar algunes de les seves característiques i millorar-les (com la seva forma, color, sabor o aroma) pot ser una estratègia clau per incrementar-ne l'acceptabilitat (Tolve *et al.*, 2025). L'extrusió es presenta com una de les tecnologies més prometedores que poden donar resposta a aquesta necessitat. L'extrusió és un procés continu en què una barreja alimentària s'impulsa a través d'un barril mitjançant un vis sens fi, dins el qual és sotmès a diferents fenòmens físics (compressió, escalfament, forces de cisalla, etc.) (Yacu, 2020) i és forçat a sortir a través d'un orifici final de mida reduïda. La combinació d'aquests fenòmens determinarà les propietats nutricionals, fisicoquímiques, organolèptiques i fins i tot microbiològiques del producte processat (Sánchez-Velázquez *et al.*, 2024).

El procés d'extrusió es divideix, principalment, en extrusió d'alta humitat o extrusió de baixa humitat. A part de diferències durant el procés, que es detallen més avall, el contingut d'humitat durant l'extrusió serà el principal paràmetre que diferirà, i aquest condicionarà, en certa mesura, les propietats del producte final: l'extrusió d'alta humitat genera productes densos i fibrosos similars a la carn, mentre que la de baixa humitat produeix textures poroses i cruixents, ideals per a *snacks*.

«El procés d'extrusió es divideix, principalment, en extrusió d'alta humitat o extrusió de baixa humitat.»

EXTRUSIÓ DE BAIXA HUMITAT AMB FARINA D'INSECTE

L'extrusió a baixa humitat (coneguda per les sigles LME, de l'anglès *low moisture extrusion*) és un procés en què una barreja d'ingredients es comprimeix, s'escalfa i es força per una petita obertura al final de l'extrusor. En sortir de l'extrusor, el canvi brusc de pressió provoca una abrupta evaporació de l'aigua, que causa una ràpida expansió, i genera un producte cruixent, lleuger i porós, típic en *snacks* com ara cereals inflats (Dekkers *et al.*, 2018; Schmid *et al.*, 2022). Durant el procés es treballa amb un contingut d'aigua d'entre el 14 % i el 32 %. L'aigua és essencial per a la correcta hidratació del midó, un altre component molt important per a aquest tipus d'extrusions. El fet que el producte es pugui expandir més o menys dependrà no només de la quantitat de midó, que és el polímer que s'expandeix quan s'evapora l'aigua, sinó també de la seva correcta hidratació i gelatinització durant el procés.

Altres factors clau en el procés d'extrusió per aconseguir la textura ideal, a part de la presència de midó i el contingut d'aigua, són la temperatura i la velocitat de gir del vis sens fi. En extrusions de baixa humitat normalment es treballa entre 100-160 °C, i se sap que temperatures més altes afavoreixen una millor expansió (Bouvier i Campanella, 2014). Les velocitats més altes també incrementen la porositat i proporcionen una textura més cruixent (Azzollini *et al.*, 2018).

Hi ha diferents factors que poden influir negativament en la capacitat d'expansió del producte i, en general, es deriven de les possibles interaccions amb el midó. Això és molt important especialment quan estem dissenyant nous productes derivats de l'ús de nous ingredients, com és el cas de l'ús de farina d'insecte. Els insectes tenen altes concentracions de proteïnes, greixos i quitina. La quitina és un tipus de carbohidrat present a l'exoesquelet dels insectes en la seva fase adulta i (habitualment) larvària. Aquest carbohidrat actua com a fibra en humans, tal com la cel·lulosa, ja que no la podem digerir. Encara que això aporta beneficis nutricionals, la presència de quitina pot afectar l'expansió i textura dels productes extrudits (Azzollini *et al.*, 2018). La quitina pot interferir en les interaccions midó-proteïna, limitar l'expansió del midó i generar productes més densos (Ruszkowska *et al.*, 2022). Els greixos dels insectes també poden dificultar la hidratació del midó, essencial per a la gelatinització i l'expansió. Tot i això, els greixos també aporten beneficis durant el procés, ja que poden actuar com a

lubricants naturals dins l'extrusora (Wójtowicz *et al.*, 2023). Les proteïnes són la fracció més important de les farines d'insectes i un dels atributs que les fa més valuoses. S'ha vist, però, que una quantitat elevada pot reduir l'expansió del producte i crear textures més denses, ja que les proteïnes interactuen amb el midó i n'afecten la capacitat d'expansió (Azzollini *et al.*, 2018). Això es pot veure clarament als extrudits de soja amb baixa humitat, que són productes densos que necessiten una hidratació abans de ser cuinats.

Els *snacks* extrudits amb insectes poden tenir un gust lleugerament torrat o ametllat gràcies a la reacció de Maillard (interacció entre aminoàcids i sucres reductors durant l'extrusió). En productes que fan servir farina d'insecte, la coloració sol ser més fosca a causa d'aquesta reacció (l'insecte aporta molta quantitat de proteïna), la qual cosa pot ser un repte en l'acceptació visual del consumidor (Ribeiro *et al.*, 2021). Per millorar-ne l'acceptació, és recomanable utilitzar insectes de coloració clara, com els grills, que aporten menys canvis visuals (Ramírez-Rivera *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2021). Així mateix, la combinació d'insectes amb altres ingredients coneguts pels consumidors, com el blat de moro o l'arròs, pot facilitar-ne l'acceptació.

EXTRUSIÓ D'ALTA HUMITAT AMB FARINA D'INSECTE

L'extrusió d'alta humitat (coneguda per les sigles HME, de l'anglès *high moisture extrusion*) és una tècnica innovadora utilitzada per transformar concentrats o aïllats de proteïna en productes densos i fibrosos amb una aparença molt similar a la carn. Aquesta tecnologia ha esdevingut fonamental en el desenvolupament d'alternatives a la carn tradicionals, especialment en el context d'una demanda creixent per a dietes més sostenibles basades en plantes (Schmid *et al.*, 2022).

Per dur a terme aquest procés, habitualment s'utilitzen extrusores de doble cargol, que permeten una gran versatilitat i l'obtenció d'una àmplia gamma de productes, des d'imitacions de pollastre fins a peces que simulen filets o trossos de peix (Zhang *et al.*, 2023). Aquest tipus d'extrusió es caracteritza per treballar amb un contingut d'humitat del material que oscil·la entre el 40 % i el 70 %, i amb temperatures que poden arribar als 140-170 °C. Aquest nivell d'humitat diferencia l'HME de l'extrusió de baixa humitat (LME). L'aigua s'introdueix generalment al barril d'extrusió a través d'una entrada específica. A l'interior, el disseny dels cargols incorpora zones de pastat i barreja per assegurar una mescla adequada entre la frac-

Taula 1. Resum de les diferències més importants entre extrusions d'alta i baixa humitat per a la producció d'extrudits d'insectes

CATEGORIA	EXTRUSIÓ D'ALTA HUMITAT (HME)	EXTRUSIÓ DE BAIXA HUMITAT (LME)
Humitat	40-70 %. Afavoreix l'estructura fibrosa	14-32 %. Expansió ràpida i textura porosa
Proteïnes	Necessita control precís per a textura fibrosa	Alta proteïna redueix l'expansió i gelatinització
Greixos	>15 % desfavoreix l'estructura; millor amb desgreixament	≥5 % limita expansió; pot actuar com a lubricant
Carbohidrats	—	Influeixen en l'expansió segons tipus i contingut
Quitina	Dificulta alineació proteica	Redueix l'expansió i digestibilitat
Textura	Densa i fibrosa (similitud a carn)	Cruixent i lleugera
Estabilitat microbiològica	Més limitada; calen tractaments complementaris	Més estable; baixa activitat d'aigua
Envasament	Control d'oxigen i humitat (atmosfera modificada, buit, etc.)	Requisits d'envasament mínims
Aplicacions	Succedanis carnis, proteïnes estructurades	Snacks, pinso

Font: Elaboració pròpia.

ció sòlida i el líquid, a més d'augmentar la fricció mecànica i l'energia mecànica específica (SME, per la seva sigla en anglès) aplicada al producte (Schmid *et al.*, 2022). Aquesta energia, mesurada en kJ/kg, reflecteix la quantitat de treball transmès del motor al material extrudit. És un factor clau que influeix tant en la textura com en la microestructura del producte final (Fang *et al.*, 2014).

La combinació de calor, hidratació, pressió i deformació mecànica fa que les proteïnes es plastifiquin i es fonguin (Dekkers *et al.*, 2018). Aquests canvis s'inicien a la zona de barreja, on la temperatura i la pressió comencen a augmentar i provoquen nombroses modificacions conformacionals en les proteïnes, com la desnaturalització i la reorganització de les cadenes polipeptídiques (Zhang *et al.*, 2019). L'abast i la naturalesa d'aquestes modificacions depenen tant de la composició del material de partida —per exemple, el tipus i contingut de proteïna, la presència de midons o fibres— com de les condicions específiques del procés d'extrusió, com la temperatura, la humitat, la velocitat de gir dels cargols o el disseny de l'extrusora.

Un cop el material arriba a l'extrem de l'extrusora, es troba a alta pressió i alta temperatura. Si es deixés expandir lliurement, l'aigua residual es vaporitzaria sobtadament i provocaria l'expansió del producte, tal com passa a la LME. Aquest fenomen és contraproduent en la producció de substituents carnis, en els quals es busca obtenir una estructura compacta i fibrosa, similar a la carn (Dekkers *et al.*, 2018; Schmid *et al.*, 2022). Per evitar aquesta expansió, en l'extrusió d'alta humitat s'instal·la un motlle de refredament allargat just després de la sortida de l'extrusora. Aquest motlle permet que el material es refredi de manera controlada, sovint reduint la tempe-

ratura fins als 30-80 °C abans que el producte surti. Durant aquest refredament, el producte se solidifica de manera controlada, sense expandir-se, i es formen fibres a mesura que les proteïnes tornen a establir enllaços intra- i intermoleculars que s'havien trencat durant la fase de processament (Schmid *et al.*, 2022). A més, el flux laminar que es genera dins del motlle de refredament també afavoreix l'alineació de cadenes proteiques i, per tant, la formació d'una xarxa densa i orientada, que confereix al producte final la textura característica que recorda la carn animal (Dekkers *et al.*, 2018).

L'orientació de la xarxa proteica és essencial per imitar la mossegada i la sensació en boca de productes carnis en aquest tipus d'extrudits, aspectes clau per a l'acceptació per part dels consumidors. Gràcies a la capacitat de modular les condicions d'extrusió i de refredament, l'HME permet crear una gran varietat de textures, adaptant-se tant a productes que imiten filets i tires de pollastre com a ingredients més suaus o esponjosos per a la producció d'hamburgueses vegetals (Guyony *et al.*, 2022).

REFERÈNCIES

AZZOLLINI, D.; DEROSI, A.; FOGLIANO, V.; LAKEMOND, C. M. M.; SEVERINI, C. (2018). «Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* [en línia], 45, p. 344-353. <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.017>>.

BOUVIER, J.; CAMPANELLA, O. H. (2014). *Extrusion processing technology* [en línia]. Nova York: Wiley. <<https://doi.org/10.1002/9781118541685>>.

CAPARROS MEGIDO, R.; GIERTS, C.; BLECKER, C.; BROSTAUX, Y.; HAUBRUGE, É.; ALABI, T.; FRANCIS, F. (2016). «Consumer acceptance of insect-based al-

ternative meat products in Western countries». *Food Quality and Preference* [en línia], 52, p. 237-243. <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>>.

CONWAY, A.; JAISWAL, S.; JAISWAL, A. K. (2024). «The potential of edible insects as a safe, palatable, and sustainable food source in the European Union. *Foods* [en línia], 13 (3), 387. <<https://doi.org/10.3390/foods13030387>>.

DEKKERS, B. L.; BOOM, R. M.; GOOT, A. J. van der (2018). «Structuring processes for meat analogues». *Trends in Food Science & Technology* [en línia], 81, p. 25-36. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>>.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y. (2014). «Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking». *Journal of Food Engineering* [en línia], 121, p. 32-38. <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.002>>.

GODFRAY, H. C. J.; POORE, J.; RITCHIE, H. (2024). «Opportunities to produce food from substantially less land». *BMC Biology* [en línia], 22 (1), 138. <<https://doi.org/10.1186/s12915-024-01936-8>>.

GUYONY, V.; FAYOLLE, F.; JURY, V. (2022). «High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review». *Food Reviews International* [en línia], 39 (7), p. 4262-4287. <<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023816>>.

RAMÍREZ-RIVERA, E. J.; HERNÁNDEZ-SANTOS, B.; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M.; TORRUCO-UCO, J. G.; RAMÍREZ-FIGUEROA, E.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. (2021). «Effects of formulation and process conditions on chemical composition, color parameters, and acceptability of extruded insect-rich snack». *Journal of Food Processing and Preservation* [en línia], 45 (5). <<https://doi.org/10.1111/jfpp.15499>>.

RIBEIRO, L.; CUNHA, L. M.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; IGUAL, M. (2021). «Effect of the house cricket (*Acheta domestica*) inclusion and process temperature on extrudate snack properties». *Journal of Insects as Food and Feed* [en línia], 7 (7), p. 1117-1130. <<https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0126>>.

RUSZKOWSKA, M.; TAŃSKA, M.; KOWALCZEWSKI, P. Ł. (2022). «Extruded corn snacks with cricket powder: Impact on physical parameters and consumer acceptance». *Sustainability* [en línia], 14 (24), p. 16578. <<https://doi.org/10.3390/su142416578>>.

SÁNCHEZ-VELÁZQUEZ, O. A.; MA, Z.; MIRÓN-MÉRIDA, V.; MONDOR, M.; HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, A. J. (2024). «Insect processing technologies». A: GARCÍA-VAQUERO, M.; ÁLVAREZ GARCÍA, C. (ed.). *Insects as food and food ingredients* [en línia]. Londres: Elsevier, p. 67-92. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95594-2.00020-3>>.

SCHMID, E.; FARAHNAKY, A.; ADHIKARI, B.; TORLEY, P. J. (2022). «High moisture extrusion cooking of meat analogs: A review of mechanisms of protein texturization». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [en línia], 21 (6), p. 4573-4609. <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.13030>>.

TOLVE, R.; ZANONI, M.; SPORTIELLO, L.; MUSOLLINI, S.; TCHUENBOU-MAGAIA, F. L.; FAVATI, F. (2025). «From fear to fork—exploring food neophobia and the inclination towards entomophagy in Italy». *International Journal of Food Science and Technology* [en línia], 60 (1). <<https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae047>>.

VINCI, G.; PRENCIPE, S. A.; MASIELLO, L.; ZAKI, M. G. (2022). «The application of life cycle assessment to evaluate the environmental impacts of edible insects as a protein source». *Earth* [en línia], 3 (3), p. 925-938. <<https://doi.org/10.3390/earth3030054>>.

WÓJTOWICZ, A.; COMBRZYŃSKI, M.; BIERNACKA, B.; ONISZCZUK, T.; MITRUS, M.; RÓŻYŁO, R.; GANCARZ, M.; ONISZCZUK, A. (2023). «Application of edible insect flour as a novel ingredient in fortified snack pellets: Processing aspects and physical characteristics». *Processes* [en línia], 11 (9), 2561. <<https://doi.org/10.3390/pr11092561>>.

YACU, W. (2020). «Extruder screw, barrel, and die assembly: General design principles and operation». A: GANJYAL, G. M. (ed.). *Extrusion cooking* [en línia]. Londres: Elsevier, p. 73-117. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00003-1>>.

ZHANG, J.; LIU, L.; LIU, H.; YOON, A.; RIZVI, S. S. H.; WANG, Q. (2019). «Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en línia], 59 (20), p. 3267-3280. <<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1487383>>.

ZHANG, Z.; ZHANG, L.; HE, S.; LI, X.; JIN, R.; LIU, Q.; CHEN, S.; SUN, H. (2023). «High-moisture extrusion technology application in the processing of textured plant protein meat analogues: A review». *Food Reviews International* [en línia], 39 (8), p. 4873-4908. <<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2024223>>.

Sabies que...

LA DEFENSA ALIMENTÀRIA SE CENTRA A PREVENIR SABOTATGES I ATACS INTENCIONATS A LA CADENA ALIMENTÀRIA

A diferència de la innocuïtat alimentària (*food safety*), que busca evitar contaminacions accidentals, la defensa alimentària (*food defense*) protegeix els aliments contra amenaces intencionades, com ara adulteracions malicioses o actes de bioterrorisme. Per això, les empreses implementen plans de defensa alimentària que identifiquen vulnerabilitats en els seus processos i estableixen mesures de control, com ara accessos restringits, vigilància i anàlisi de riscos específics. Aquest enfocament és essencial per garantir la seguretat del subministrament d'aliments.



Aquest enfocament inclou l'elaboració d'un pla amb mesures específiques com:

1. Anàlisi de vulnerabilitats: identificar punts crítics a la cadena de producció en què un atac seria més probable o nociu, com àrees d'emmagatzematge, línies d'envasament o transport.
2. Controls d'accés: restringir qui pot entrar en zones sensibles dins de les instal·lacions, utilitzant sistemes com ara targetes electròniques o càmeres de vigilància.
3. Entrenament del personal: capacitar els empleats perquè reconeguin comportaments sospitosos i comprenguin la importància de reportar qualsevol irregularitat (comunicació interna).
4. Pla de resposta: dissenyar procediments clars per actuar ràpidament en cas d'un incident, i minimitzar l'impacte en la salut pública i el negoci.

Iniciatives privades com les normes IFS (vegeu <https://www.ifs-certification.com/index.php/es/>), BRCGS (vegeu <https://www.brcgs.com/>) i FSSC 22000 (vegeu <https://www.fssc.com/schemes/fssc-22000/>) inclouen el pla Food Defense com a requisit per a la certificació.

Als Estats Units, mitjançant la iniciativa FIRST (vegeu <https://www.fda.gov/food/food-defense> i <https://www.fda.gov/food/food-defense-training-education/employees-first>), els empleats són la primera línia de defensa dels aliments.

CATHERINE VIDAL ORTEGA

Doctora en farmàcia. Acadèmica corresponent de la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya. Especialista en sistemes de gestió de la qualitat

LA PROTEÏNA DE SÈRUM MICROPARTICULADA ÉS TERMOESTABLE I DE PH NEUTRE, COSA QUE EN FACILITA L'APLICACIÓ EN DIFERENTS PRODUCTES LÍQUIDS RICS EN PROTEÏNA

Les proteïnes del sèrum proporcionen importants beneficis nutricionals, però, quan són sotmeses a tractaments tèrmics intensos, per garantir la seguretat del producte del qual formen part i poder tenir una vida útil més gran, aquestes proteïnes es desnaturalitzen irreversiblement i es polimeritzen formant gels, cosa que provoca sedimentació al producte acabat i, per tant, menys caducitat. La tecnologia de la microparticulació de la proteïna del sèrum ens resol aquest problema. Per a això, una vegada s'ha obtingut el concentrat de proteïna de sèrum, aquest és sotmès a un procés de filtració, escalfament i homogeneïtzació, fet que dona lloc a la microparticulació de la proteïna. Això evita la seva gelificació i provoca la formació de petits agregats de proteïna de sèrum, amb una grandària de partícula semblant a la del glòbul gras, i així es mantenen les característiques nutricionals, organolèptiques i funcionals.



Aquesta tecnologia determina que la proteïna sèrica sigui termoestable i de pH neutre, cosa que permet aplicar-la en productes líquids i augmentar-ne la vida útil: suplementos nutricionals, productes per a nutrició clínica, begudes riques en proteïnes, fórmules làctiques infantils, llets enriquides, aplicacions en què se substitueix el glòbul gras. També es pot aplicar en l'elaboració del formatge, la qual cosa proporciona un considerable augment en el seu rendiment.

Aquesta aplicació tecnològica obre noves i importants oportunitats a les companyies, que tenen al mercat presentacions líquides riques en proteïna, i també a la indústria del formatge.

REFERÈNCIES

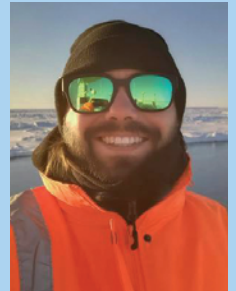
- BEJARANO-TORO, E. E.; RODRIGUEZ-SANDOVAL, E.; SEPÚLVEDA-VALENCIA, J. V. (2023). «Effect of microparticulate from whey protein concentrates on the characteristics of fresh cheese». *Revista de Ciencias Agrícolas*, 40 (2), e2208.
- COTO GARCIA, A. (2014). *Microparticulación de proteínas a partir de concentrados proteicos: WPC-60*. Treball final de màster 2014. Universidad de Oviedo.
- ZHANG, Z.; ARRIGHI, V.; CAMPBELL, L.; LONCHAMP, J.; LONGHAMP, J.; EUSTON, S. R. (2016). «Properties of partially denatured whey protein products: Formation and characterisation of structure». *Food Hydrocolloids* [en línia], 52, p. 95-105. <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.009>>.

RICARD CHIFRÉ PETIT

Nutricionista i tecnòleg d'aliments

EXISTEIX UNA PROFESSIONI QUE ÉS «OBSERVADORS DE PESCA»

Els observadors pesquers són professionals qualificats que recolen dades de pesca *in situ*, ja sigui a bord de vaixells de pesca, tant en aigües nacionals com internacionals, o piscifactories, ja sigui en plataformes marines. Les dades recopilades són utilitzades per governs i institucions internacionals per estudiar i determinar la salut de les poblacions de les espècies comercials i també la de la fauna acompanyant capturada de manera accidental durant la pesca.



Aquests professionals, que sovint són biòlegs marins o oceanògrafs, també realitzen altres funcions, com són el marcatge d'individus per fer seguiment dels moviments de les espècies i les migracions, el control de captures de mamífers marins i el seu possible alliberament en cas que estiguin en bon estat, l'assegurament de l'execució de les normatives específiques de la pesqueria, entre d'altres. Tot això és fonamental per dissenyar les polítiques pesqueres més apropiades en cada temporada.

L'Agenda 2030, en el seu objectiu de desenvolupament sostenible 14 (vida submarina, vegeu www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/), destaca que la pesca és la font de proteïnes del 50 % de la població mundial, i detalla en el punt 14.2 que cal protegir i restaurar ecosistemes: gestionar i protegir de manera sostenible els ecosistemes marins i costaners per evitar impactes adversos significatius, fins i tot enfortint-ne la resiliència, i prendre mesures per restaurar-los per tal d'aconseguir oceans sans i productius. En el punt 14.4, sobre pesca sostenible, s'assenyala que cal regular eficaçment la pesca i posar fi a la sobrepesca, la pesca il·legal, no declarada i no regulada, i les pràctiques pesqueres destructives, i implementar plans de gestió basats en la ciència, per tal de restaurar les poblacions de peixos en el menor temps possible, almenys a nivells que puguin produir el màxim rendiment sostenible segons les seves característiques biològiques.

Malgrat ser una feina molt important per assegurar la cura del medi marí, és poc reconeguda, especialment pel que fa als riscos que comporta. Pel fet d'estar treballant a bord d'una embarcació, un espai tancat, les condicions laborals són úniques i varien depenent de cada vaixell i de la tripulació (especialment els oficials). Els principals problemes que es troba un observador pesquer mentre treballa són d'habitabilitat (estat de les zones comunes o de la cabina), falta de zones designades per treballar amb seguretat, llargs períodes d'aïllament i comunicació amb l'exterior, problemes amb la tripulació, etc. Aquest últim és especialment greu amb les observadores i, tot i les denúncies, tant les empreses pesqueres com les companyies encarregades de gestionar i formar observadors moltes vegades no tenen plans d'actuació o no es prenen els incidents amb la seriositat que es mereixen.

Un cop a terra, els observadors es troben amb altres problemes, com la falta de seguretat laboral, i, en el cas concret dels observadors espanyols, la falta de regulació d'aquesta feina per part de les administracions de l'Estat.

Per abordar tots aquests problemes de forma conjunta, l'any 2022 es va començar a crear l'Associació de Professionals de l'Observació Científica Marina (APOCM, vegeu <https://apocm.blogspot.com/>) amb la idea d'unir les veus disseminades de tots els professionals al llarg del planeta per reivindicar millores en el sector, més protecció, i per lluitar pel medi marí.

PERE HERNÁNDEZ BANQUÉ

Científic marí i observador científic pesquer

ALGUNS PAÏSOS UTILITZEN LA LLUM ULTRAVIOLADA DE TIPUS C (UVC) PER REDUIR LA CÀRREGA MICROBIANA A LA SUPERFÍCIE DE LA CLOSCA DELS OUS

A Europa, l'estratègia principal per garantir la seguretat dels ous es basa en un enfocament preventiu. Aquesta política està avalada pel Reglament (CE) núm. 589/2008, que regula la comercialització d'ous a la Unió Europea.



Les estratègies de prevenció a Europa es fonamenten a mantenir la integritat natural de l'ou des de l'origen, evitant tractaments que puguin malmetre'n la protecció biològica. Per això, es prioritza una higiene estricta durant la producció, la vacunació de les gallines ponedores (especialment contra la salmonel·la) i la gestió adequada dels ous per preservar la cutícula, una capa que actua com a barrera contra els microorganismes.

Tanmateix, altres països com el Japó i els Estats Units adopten una estratègia diferent, centrada no tant en la prevenció durant la producció, sinó en la desinfecció posterior de l'ou. En lloc de mantenir la cutícula intacta, els ous se sotmeten a processos intensius de neteja i desinfecció per garantir-ne la seguretat abans de comercialitzar-los. Aquest enfocament inclou diverses fases: primer se'n fa un rentat mecànic amb detergents suaus per eliminar-ne la brutícia visible, a continuació se'n fa una esbandida i assecatge, i finalment s'hi aplica un tractament amb llum ultraviolada de tipus C (UVC). En aquesta última fase, els raigs UVC actuen com un agent germicida que inactiva els possibles microorganismes presents a la superfície de la closca, especialment bacteris com la salmonel·la, la qual cosa redueix el risc de transmissió de malalties a través de l'ou.

Tot i que Europa, en comparació amb el Japó i els Estats Units, segueix enfocaments diferents en la gestió higiènica dels ous, ambdues estratègies, encara que distintes, són igualment vàlides i es fonamenten en estudis científics que n'avalen l'eficàcia pel que fa a la conservació i la seguretat de l'aliment.

REFERÈNCIES

Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) relativo al empleo de un sistema para la higienización de huevos con cáscara mediante luz UVC [en línia]. <https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/HIGIENIZACION_HUEVOS_LUZUVC.pdf> [Consulta: 30 abril 2025].

MUSGROVE, M. T.; JONES, D. R.; COX, N. A. (2019). *Current commercial-scale egg washing practices in the USA and Japan* [en línia]. <https://www.researchgate.net/publication/332800166_Current_commercial-scale_egg_washing_practices_in_the_USA_and_Japan> [Consulta: 30 abril 2025].

Reglamento (CE) n.º 589/2008 de la Comisión, de 23 de junio de 2008, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n.º 1234/2007 del Consejo en lo que atañe a las normas de comercialización de los huevos, 163 OJ L (2008) [en línia]. <<http://data.europa.eu/eli/reg/2008/589/oj/spa>> [Consulta: 30 abril 2025].

GUILLEM GERVILLA CANTERO

Investigador i docent predoctoral a l'Àrea de Nutrició i Bromatologia, Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Graduat en ciència i tecnologia dels aliments (UAB). Màster Oficial en Gestió de la Seguretat Alimentària (Universitat Internacional de la Rioja, UNIR). Estudiant de Doctorat en Ciència dels Aliments (UAB)

ELS CRISTALLS DEL FORMATGE CURAT NO SÓN SAL, SINÓ TIROSINA

Els petits cristalls blancs que sovint trobem als formatges curats com el parmesà i el manxec vell no són sal, sinó tirosina, un aminoàcid derivat de la degradació de les proteïnes durant el procés de maduració. Aquest fenomen és el resultat de l'acció de les proteases, uns enzims que trenquen la caseïna en fragments més petits, alguns dels quals són aminoàcids lliures, com la tirosina. A més, la migració lenta de l'aigua dins la massa del formatge afavoreix l'acumulació d'aminoàcids en zones concretes.

La presència d'aquests cristalls s'associa amb un llarg període de maduració i es considera un senyal de qualitat i maduració avançada. A més de contribuir a la textura granulosa característica d'aquests formatges, la tirosina també fa un paper en el metabolisme humà, ja que és precursora de neurotransmissors com la dopamina i la noradrenalina, essencials per a la regulació de l'estat d'ànim, la motivació i l'estrès.

REFERÈNCIES

D'INCECCO, P.; LIMBO, S.; HOGENBOOM, J.; ROSI, V.; GOBBI, S.; PELLEGRINO, L. (2020). «Impact of extending hard-cheese ripening: A multiparameter characterization of Parmigiano Reggiano cheese ripened up to 50 months». *Foods* [en línia], 9 (3), 268. <<https://doi.org/10.3390/foods9030268>>.

FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; MCSWEENEY, P. L. H. (2017). *Fundamentals of cheese science* [en línia]. Londres: Springer US. <<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>>.

PAULA CRUZ VERA

Investigadora i tècnica de suport a la recerca al Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Graduada en ciència i tecnologia dels aliments (UAB). Màster universitari en Gestió de la Seguretat Alimentària (Universitat Internacional de la Rioja, UNIR)



LES PASTANAGUES NO SEMPRE HAN ESTAT DE COLOR TARONJA

Quan pensem en una pastanaga, la imatge habitual és la d'una arrel allargada de color taronja intens, però aquesta associació tan arrelada és en realitat fruit d'una història de selecció artificial. Originàriament, les pastanagues cultivades a l'Àsia i Europa podien ser de diversos colors: morades, grogues, blanques i fins i tot negres. Aquesta diferència de colors es devia a la presència de diferents pigments naturals, com per exemple les antocianines en les morades i els flavonoides en les grogues. Va ser al segle XVII, als Països Baixos, quan els agricultors van començar a seleccionar de manera intencionada varietats de pastanagues de color taronja pel seu sabor dolç i la seva textura cruixent.

Així doncs, el color taronja de les pastanagues que coneixem avui dia és degut al betacarotè, un pigment carotenoide que actua com a precursor de la vitamina A. Diversos estudis han demostrat que el betacarotè té una activitat antioxidant capaç de neutralitzar radicals lliures i prevenir danys cel·lulars. A més, el seu consum s'ha relacionat amb un menor risc de patir determinats tipus de càncer i malalties degeneratives.

REFERÈNCIES

MARTÍNEZ, N. (2021). «Este es el verdadero origen del color naranja de las zanahorias». *La Vanguardia* [en línia]. <<https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20210209/6231964/verdadero-origen-color-naranja-zanahorias.html>> [Consulta: 18 maig 2025].

NAGRAJ, G. S.; JAISWAL, S.; HARPER, N.; JAISWAL, A. K. (2020). «Carrot». A: JAISWAL, Amit K. (ed.). *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables*. Londres: Elsevier, p. 323-337. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9>>.

SILVA DIAS, J. C. da (2014). «Nutritional and health benefits of carrots and their seed extracts». *Food and Nutrition Sciences*, 05 (22), p. 2147-2156. <<https://doi.org/10.4236/fns.2014.522227>>.

AMINTA ISABEL VEGA SÁNCHEZ

Investigadora i estudiant de doctorat en ciència dels aliments a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) mitjançant el programa de beques IFARHU-SENACYT del Govern del Panamà. Graduada en ciència i tecnologia dels aliments a la Universitat del Panamà (UP). Màster universitari en Qualitat d'Aliments d'Origen Animal (UAB)



ELS SIFONS: DE REMEI MEDICINAL A PRECURSOR DE LES BEGUDES REFRESCANTS

L'origen medicinal dels sifons

Els farmacèutics van ser els primers d'analitzar els efectes beneficiosos de les aigües minerals naturals amb gas i de desenvolupar mètodes per reproduir-ne, cosa que va donar lloc als primers sifons. El sífó es comercialitzava com un remei per afavorir la digestió i alleujar molèsties gàstriques. Hospitals com el de Santa Creu i Santa Pau de Barcelona elaboraven els seus propis sifons i els distribuïen gratuïtament entre els pacients.

A Espanya, la primera referència documentada sobre la producció de sífons data de 1895, i es considera així la primera beguda refrescant de la qual tenim constància.

A mesura que la producció de sífons es va expandir, el seu ús va transcendir l'àmbit medicinal; el seu característic efecte efervescent i refrescant va convertir-lo en una beguda de consum diari i va esdevenir un element essencial a les llars i establiments de restauració. A més, a finals del segle XIX i principis del segle XX, es va consolidar com a ingredient clau en la preparació de begudes i còctels. Aquest pas va ser fonamental per al desenvolupament de la indústria de les begudes refrescants i va donar lloc a la creació dels primers refrescos.

A diferència de dècades anteriors, en què el sífó es consumia diàriament i sovint amb finalitats digestives, avui dia el consum de begudes refrescants, especialment a Espanya, s'associa principalment a moments d'oci i socialització. No obstant això, la seva naturalesa refrescant continua sent molt apreciada.

El sífó ha tingut un paper fonamental en la història de les begudes refrescants a Espanya i és un gran exemple de com la tradició i la innovació poden conviure en un mateix producte, adaptant-se als nous temps sense perdre l'essència.



Figura 1. Sífó de l'Hospital de Santa Creu de Barcelona.
Font: Col·lecció de Sanmy. Terrassa.

ASSOCIACIÓ DE BEGUDES REFRESCANTS (ANFABRA)

EL MATÓ I EL RECUIT NO SÓN EL MATEIX

Si sortissis al carrer i preguntessis si el mató i el recuit són el mateix, probablement molta gent et diria que sí, que el mató i el recuit (en castellà, *requesón*) són el mateix producte. Aquesta confusió és habitual a la societat, i fins i tot es pot trobar en alguns establiments de restauració col·lectiva o d'hostaleria.



Per entendre la diferència entre aquests dos productes, cal conèixer com s'elabora un formatge fresc. La llet està formada principalment per glòbuls grassos, micel·les de caseïna i proteïnes del sèrum dissoltes en aigua. Quan s'hi afegeix quall o un àcid (com ara l'àcid cítric o l'àcid làctic), les micel·les de caseïna interaccionen entre elles i formen un gel conegut com a *quallada*. Aquesta es talla i es premsa i, mentre se'n va eliminant el líquid (el sèrum de formatgeria format per proteïnes del sèrum dissoltes), s'obté un formatge fresc. Aquest es pot salar o madurar per obtenir altres varietats.

En la indústria làctia, la llet crua rebuda s'ha de sotmetre a un tractament tèrmic suau (com ara una termització o una pasteurització) per garantir la seguretat alimentària. Aquest tractament ha de ser de baixa intensitat per evitar perjudicar la coagulació, ja que una temperatura massa alta pot danyar les micel·les de caseïna o desnaturalitzar les proteïnes del sèrum. Per afavorir la coagulació, s'hi afegeix clorur càlcic, que incrementa el calci col·loidal disponible i afavoreix la desestabilització de les micel·les.

Si, en canvi, s'aplica un tractament tèrmic intens a la llet ($>90\text{ }^{\circ}\text{C}$), es provoquen interaccions entre les proteïnes sèriques desnaturalitzades i les micel·les de caseïna, que n'augmenten la mida. Si s'hi afegeix clorur càlcic i es premsa lleugerament, les micel·les flocculen i s'obté mató. Tot i així, hi ha altres varietats de mató que provenen de la coagulació amb quall o amb àcid cítric i clorur càlcic.

El recuit (o brossat), en canvi, s'elabora escalfant el sèrum de formatgeria a alta temperatura fins que les proteïnes del sèrum es desnaturalitzen i precipiten. Per tant, no és estrictament un formatge, sinó un derivat làctic, ja que no prové de la coagulació de les micel·les de caseïna.

Així doncs, tot i que el mató i el recuit puguin semblar similars, la seva elaboració, composició i textura els converteixen en dos productes ben diferents dins la família dels derivats làctics.

REFERÈNCIES

ABOAB, M. (2018). *Análisis y aplicación de parámetros de control como herramienta de la IGP «Mató»* [en línia]. Treball de fi de màster. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. <<https://ddd.uab.cat/record/215675>> [Consulta: 29 abril 2025].

MC SWEENEY, P. L. H.; FOX, P. F.; COTTER, P. D.; EVERETT, D. W. (2017). *Cheese: Chemistry, physics and microbiology*. 4a ed. Londres: Elsevier Academic Press.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. (2006). *Dairy science and technology*. 2a ed. Boca Raton, Florida: CRC Press.

XAVIER MARÍN ANGLADA

Investigador i docent predoctoral al Departament de Tecnologia Alimentària de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).
Graduat en ciència i tecnologia dels aliments (UAB). Màster en Tecnologies Facilitadores per a la Indústria Alimentària i Bioprocessos (Universitat Politècnica de Catalunya). Màster en Data Science (IU University). Estudiant de doctorat en ciència dels aliments (UAB)

Benvolguts nous socis i noves sòcies



En nom propi i de tots els membres de la Junta de l'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació (ACCA) us volem donar una afectuosa benvinguda a la nostra associació, ara també vostra.

Som un col·lectiu plural i apassionat pel món de l'alimentació en totes les seves dimensions. Des de 1979 impulsem iniciatives diverses en l'àmbit de la salut i la seguretat alimentària arreu dels territoris de parla catalana. Organitzem conferències, jornades tècniques i activitats formatives en col·laboració amb grups de recerca i entitats del sector. Com a membres de l'ACCA, podeu gaudir d'avantatges com l'accés gratuït o amb descompte a moltes d'aquestes activitats.

Un dels nostres projectes destacats és la revista *TECA. TECNOLOGIA I CIÈNCIA DELS ALIMENTS*, una publicació que busca connectar els associats, fomentar l'intercanvi de coneixement i difondre temes d'interès en l'àmbit de les ciències de l'alimentació. Com a socis, us informarem de la publicació de cada nou volum de la revista, disponible digitalment a <https://revistes.iec.cat/index.php/TECA>, i també podeu participar-hi enviant propostes d'articles, entrevistes o altres continguts a través de l'espai «Comunicació». Actualment, i per motius ecològics, no s'envia la revista en paper, sinó de forma virtual, però, si la voleu en paper, la podeu demanar.

Si sou estudiants, us oferim eines i recursos per enfortir el vostre desenvolupament professional i facilitar-vos el contacte amb experts del sector.

A més, teniu a la vostra disposició el web i les xarxes socials de l'ACCA, on podeu no només estar al dia de les novetats, sinó també contribuir-hi amb continguts propis. Si esteu treballant en projectes, escriviu articles o organitzeu activitats, ens encantarà ajudar-vos a donar-los visibilitat.

Ens agradaria molt saber una mica més de vosaltres: quins són els vostres interessos professionals, què us motiva i com podem créixer plegats. Ens encantaria rebre els vostres currículums i conèixer-vos personalment, ja sigui a la nostra seu o en alguna de les activitats que organitzem.

Esperem que la vostra experiència amb nosaltres sigui enriquidora i que trobem molts espais per compartir coneixement, inquietuds i projectes.

És un plaer comptar amb vosaltres a l'ACCA.

Benvinguts i benvingudes.

Montserrat Banqué i Molas

Presidenta de l'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació,
societat filial de l'Institut d'Estudis Catalans



Activitats 2024-2025

- *28 de maig de 2024.* Seminari web «Nutrició i salut». Es van tractar temes com la convergència entre l'alimentació, la salut humana i l'equilibri mediambiental, els projectes d'R+D d'Eurecat amb el Grupo Carinsa i l'explicació de les innovacions en nutrició i salut que estava realitzant el Grupo Carinsa per als seus clients.
- *28 de maig de 2024.* Junta de l'ACCA a l'IEC i Jornada ACCA: «Empreses i institucions: interessos compartits en l'alimentació». En aquesta jornada es va donar una visió de temes d'alimentació des del punt de vista de les empreses i Abel Mariné va presentar el llibre *Producció d'aliments i sostenibilitat*.
- *28 de maig de 2024.* Entrevista a Maria dels Àngels Calvo, vicepresidenta de l'ACCA, al programa *Llumpets* a Barcelona.
- *29-31 de maig de 2024.* L'ACCA va presentar a la Fira Gran 2024, a la Farga de l'Hospitalet, la guia *Consells alimentaris per a la gent gran*, feta per Assumpció Roset i Glòria Arbonés, membres de l'ACCA.



Alguns membres de l'ACCA a la jornada.

- *5 de juny de 2024.* Participació en la taula rodona «Fonts d'informació rigoroses i amenes en alimentació», de l'Agència de Salut Pública de Catalunya. Taula rodona per saber divulgar, construir i avaluar les evidències i proves i establir riscos i beneficis.
- *10 de juny de 2024.* L'ACCA va assistir a la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya (RAFC) per a la presentació del llibre sobre el canvi climàtic a la salut de la població.

- *11 de juny de 2024.* Visita al Banc dels Aliments de Lleida i reunió del Comitè Ètic i la Federació Catalana de Bancs d'Aliments (FECATBAL).
- *18 de juny de 2024.* Celebració del 117è aniversari de la creació de l'IEC amb participació de l'ACCA. El 18 de juny de 1907, Enric Prat de la Riba, president de la Diputació de Barcelona, va proposar la creació de l'IEC. La presidenta i la vicepresidenta de l'ACCA van assistir a l'acte.
- *25 de juny de 2024.* Participació en l'organització de la Jornada «Perspectives i futur de l'aqüicultura a Catalunya», juntament amb la Institució Catalana d'Estudis Agraris i l'IEC.



Cristóbal Aguilera (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, IRTA), Lluís Guerrero (IRTA), Jordi Sala (president ICEA), Joaquim Ros (ICEA), Montserrat Rivero (presidenta de l'ACCA), Joan Tibau (IRTA-ACCA) i Sergi Tudeala (director general de Política Marítima i Pesca Sostenible de la Generalitat de Catalunya).

- *25 de juny de 2024.* La doctora Maria dels Àngels Calvo, vicepresidenta de l'ACCA, va rebre el Premi Mujer del Año dins del marc de «Mujeres influyentes en salud animal y veterinaria 2024 (Animal's Health)».
- *13-17 de setembre de 2024.* L'ACCA va assistir a la presentació del Pla Estratègic Alimentari de Catalunya (PEAC). S'hi van presentar els ajuts per al foment de la transformació del sistema agroalimentari català dins de l'estratègia alimentària de Catalunya.
- *16-17 de setembre de 2024.* La presidenta de l'ACCA, Montserrat Rivero, va assistir a les activitats «Ajuts estratègia alimentària de Catalunya per al fo-

ment de la transformació del sistema agroalimentari». Es va explicar el marc general de les línies d'ajuts, especialment la línia 5, per al compliment de la normativa d'higiene i qualitat dels petits elaboradors, i la línia 6, per a la prevenció de les pèrdues del malbaratament alimentari i projectes innovadors.

- *30 de setembre de 2024.* Jornada One Health «El canvi climàtic i les malalties emergents: sobre canvi climàtic i malalties emergents», organitzada per la Institució Catalana d'Estudis Agraris (ICEA) i l'IEC, amb la intervenció de la doctora Maria dels Àngels Calvo, vicepresidenta de l'ACCA.
- *2 d'octubre de 2024.* L'ACCA va assistir al dinar-col·loqui «Què mengem? El món de les abelles: un repte per a la sostenibilitat mediambiental, econòmica i social», organitzat pel Col·legi d'Economistes.
- *2-4 d'octubre de 2024.* Membres de l'ACCA i voluntaris del Centre d'Estudis dels Bancs d'Aliments Catalans van participar activament en la cimera mundial Fam Zero, organitzada per la Generalitat de Catalunya i l'Organització de Nacions Unides - Fòrum Global d'Associacions de Regions (ORU Fogar).
- *9 d'octubre de 2024.* VIII Jornada «Aprofitem els aliments: intercanvi d'experiències en la prevenció del malbaratament alimentari», organitzada pel Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Aliments, l'Ajuntament de Lleida i el Banc dels Aliments. Diversos membres de l'ACCA van assistir-hi i van participar en el col·loqui.
- *15 d'octubre de 2024.* Taula rodona «Repensant la producció d'aliments del futur: sostenibilitat, seguretat i salut». Amb motiu del Dia Mundial de l'Alimentació (16 d'octubre), l'ACCA va col·laborar amb l'Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida en l'organització d'una sessió per debatre i reflexionar sobre com hauria de ser la producció d'aliments del futur.
- *16 d'octubre de 2024.* Jornada del Dia Mundial de l'Alimentació «El malbaratament alimentari, un tema central en l'agenda global 2023». Organitzat per la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya, amb la col·laboració de l'ACCA. En la jornada es va tractar com el malbaratament alimentari repercuteix en la salut.



Alguns membres de l'ACCA que van participar en la jornada del Dia Mundial de l'Alimentació.

- *21 d'octubre de 2024.* Reunió de col·laboració entre l'ACCA i el Banc dels Aliments de Barcelona. El conveni signat per l'ACCA-IEC amb el Banc d'Aliments de Barcelona va permetre posar en comú els projectes sobre formació i divulgació de com combatre la pobresa i el malbaratament, objectius de desenvolupament sostenible (ODS).
- *4 de novembre de 2024.* Conferència d'entrada com a acadèmica corresponent de la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya de la doctora Rosa M. Lamuela, «És tan important l'oli d'oliva verge a la taula com a la cuina», sobre els beneficis de l'oli d'oliva verge. Diversos membres de l'ACCA van participar en aquest acte.
- *7 de novembre de 2024.* Assistència de l'ACCA a la conferència «Contribucions de la IA a les diferents especialitats de l'enginyeria» en el 13th Engineering Meeting Point IGENIUM 2024.
- *11-13 de novembre de 2024.* 5a edició del Science & Cooking World Congress, organitzat per l'ACCA juntament amb la UB i altres patrocinadors. Congrés amb participació de molts països americans, asiàtics i mediterranis. El tema principal van ser les textures, i científics i cuiners van exposar les seves experiències per intercanviar i enriquir els coneixements mutus.
- *19 de novembre de 2024.* Jornada sobre polítiques alimentàries municipals amb el lema «Alimentem Barcelona». Els membres de l'ACCA Montserrat Rivero, Ricard Colomé i Montserrat Banqué van assistir a la Jornada.



Activitats 2024-2025

- *22 de novembre de 2024.* Seminari web «La contro-
versia sobre els aliments ultraprocessats», organitzat
per la Fundació Triptolemos. Seminari amb la parti-
cipació de 260 professionals de 14 països. M. Car-
men Vidal i Yvonne Colomer, membres de l'ACCA,
van ser ponent i moderadora, respectivament. També
hi va participar Montserrat Rivero, presidenta de
l'ACCA, i altres membres de l'Associació.
- *26 de novembre de 2024.* XVII Jornada PAAS de la
Generalitat «Endavant per moure'ns més». Organit-
zada per l'Agència de Salut Pública de Catalunya, va
comptar amb la participació de membres de l'ACCA
(Anna Bach, Gemma Salvador i Montserrat Rivero).
- *26 de novembre de 2024.* X edició dels Premis Càte-
dra UB - Danone. La presidenta de l'ACCA, Mont-
serrat Rivero, i Oriol Comas, membre de la Junta i
professor de la UB, van formar part del jurat, i altres
membres de l'ACCA van assistir a l'acte.
- *3 de desembre de 2024.* XX Premis del Consell So-
cial i XVII de la Fundació Bosch i Gimpera de la
UB. La doctora Carmen Vidal Carou, catedràtica de
la UB i exvicepresidenta de l'ACCA, va rebre el Pre-
mi Antoni Caparrós pel seu projecte *Nou ingredient
a base de brots de llegum per a la gestió dietètica a
la intolerància a la histamina*. Va estar acompanya-
da per Abel Mariné, expresident de l'ACCA, i Mont-
serrat Rivero, presidenta de l'Associació, a més d'al-
tres socis.
- *11 de febrer de 2025.* L'ACCA participa en el Dia
Internacional de la Dona i la Nena en la Ciència.
L'Escola Costa i Llobera de Barcelona va convidar
dones científiques a explicar el mètode científic als
nens i nenes de primària.
- *14 de febrer de 2025.* Reunió de la comissió Joves de
l'ACCA. Trobada de membres de la Junta de l'AC-
CA amb membres joves per conèixer millor els seus

treballs i valorar la possibilitat de col·laboració i pu-
blicacions a la revista TECA.

- *20 de febrer de 2025.* Assistència a la taula rodona:
«Marques fabricants, marques blanques, marques ne-
gres. Cap on va el consum alimentari?», organitzada
per la ICEA. Es va analitzar l'evolució de les diferents
tipologies de marques i es va debatre el seu impacte.
- *26 de febrer de 2025.* Taller formatiu virtual de l'As-
sociació Catalana de Científics i Tecnòlegs dels Ali-
ments: «La prevenció del malbaratament al sector
agroalimentari. Present i futur».
- *13 de març de 2025.* Jornada de dones científiques i
innovadores a l'àmbit agroalimentari. La presidenta
i la vicepresidenta de l'ACCA, Montserrat Rivero i
Maria dels Àngels Calvo, respectivament, van parti-
cipar com a ponents en aquestes jornades com a
exemple de dones que han fet història, dones que es-
tan fent història i noves generacions de dones que
faran història.



Alguns membres de l'ACCA a la Nit de l'Alimentació.

- *25 de març de 2025.* Celebració de la Nit de l'Alimen-
tació, organitzada per l'ACCA. Jornada centrada en la
història de l'alimentació a Catalunya. En la mateixa
jornada es va fer entrega del Premi Ordesa i del Premi
a la Trajectòria Professional a Pere Castells.



COMUNICACIÓ

Per tal d'arribar a més gent i poder ser un referent divulgatiu en temes de ciència i alimentació al nostre país, estem treballant per ser presents i actius a les xarxes socials i per dinamitzar el nostre web.

WEB

Al web <https://acca.iec.cat> teniu notícies, articles, esdeveniments, la revista TECA en línia, recursos i l'apartat per fer-se soci/sòcia de l'Associació.

Per a temes més immediats i quotidians, també podeu trobar-nos a les xarxes socials Facebook, Instagram i Bluesky. Busqueu-nos, seguiu-nos i @etiqueteu-nos, perquè així, entre tots, ampliarem la comunitat ACCA.

XARXES SOCIALS

Web: <https://acca.iec.cat>

Facebook: <https://www.facebook.com/associaciocatalanacienciesalimentacio>

Bluesky: <https://bsky.app/profile/acca.iec.cat> **Usuari:** @acca.iec.cat

Instagram: @ACCA_iec

BUTLLETÍ DE L'ACCA

Un cop cada dos o tres mesos enviem a l'adreça electrònica dels nostres socis i sòcies el *Butlletí de l'ACCA*, un butlletí electrònic (llista de distribució per correu electrònic) que recull notícies d'actualitat de l'ACCA i temes de ciència i alimentació que pensem que poden ser d'interès. Aquest butlletí electrònic només el rebran els socis i les sòcies, que, d'un cop d'ull, podran estar al dia de les notícies de l'Associació i gaudir de descomptes en jornades i esdeveniments en els quals l'ACCA estigui implicada.



PARTICIPACIÓ

VOLS PUBLICAR UNA ENTRADA AL WEB DE L'ACCA?

Si teniu articles que hàgiu publicat, participeu en esdeveniments que poden ser interessants, voleu fer alguna ressenya d'un acte, feu una presentació i la voleu donar a conèixer, teniu un treball interessant..., compartiu la informació! En podem fer una entrada al web de l'ACCA; només cal que us poseu en contacte amb nosaltres a través del formulari del web, a l'apartat «Contacte».

TECA

ET VOLEM ESCOLTAR

Ens agradaria rebre aportacions o reflexions obertes sobre algun tema relacionat amb la revista o amb l'Associació. Ens podeu fer arribar els vostres textos escrivint un correu electrònic a: acca@iec.cat.

PUBLICAR A TECA

LLIURAMENT DELS ARTICLES

Els treballs s'han de fer arribar a la revista TECA: TECNOLOGIA I CIÈNCIA DELS ALIMENTS, a l'adreça de correu electrònic acca@iec.cat. Un cop acceptada la seva idoneïtat de contingut i format, tant pel Comitè de Publicacions com per la coordinació editorial, se'n farà la correcció ortogràfica en català. Els articles es publicaran en la revista en paper i també es podran veure a través de l'Hemeroteca Científica Catalana (<https://revistes.iec.cat/index.php/TECA>).

ASPECTES COMUNS A TOTS ELS ARTICLES

Tipus i cos de lletra: Times New Roman 12. Marges: 25 mm. Espai doble entre línies. Resum d'entre 75 i 200 paraules en català i anglès, que ha de ser independent del text principal de l'article i no ha de contenir citacions bibliogràfiques ni abreviacions sense desenvolupar. Cal consignar paraules clau en català i en anglès. La numeració de les pàgines ha de començar a la pàgina del títol. Les taules i les figures s'han de presentar en una pàgina per a cadascuna.

DADES DELS AUTORS

Nom complet amb els dos cognoms i nom dels departaments i les institucions als quals es vol atribuir el treball.

CITACIONS BIBLIOGRÀFIQUES

Les citacions bibliogràfiques s'han d'ordenar alfabèticament a partir del primer cognom del primer autor. Es poden citar aquells articles acceptats però no publicats, esmentant el títol de la revista seguit d'«en premsa» entre parèntesis. Els títols de les revistes s'han d'abreujar segons l'estil dels índexs internacionals.

DRETS D'AUTOR I RESPONSABILITATS

La propietat intel·lectual dels articles és dels respectius autors.

En el moment de lliurar els articles a TECA: TECNOLOGIA I CIÈNCIA DELS ALIMENTS per sol·licitar-ne la publicació, els autors accepten els termes següents:

— Els autors cedeixen a l'Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació (ACCA, filial de l'Institut d'Estudis Catalans) els drets de reproducció, comunicació pública (incloent-hi la comunicació a través de les xarxes socials) i distribució dels articles presentats per a ser publicats a TECA, en qualsevol forma i suport, i per qualsevol mitjà, incloses les plataformes digitals. El Comitè Editorial es reserva els drets d'acceptar o de refusar els treballs presentats i, igualment, es reserva el dret de fer qualsevol modificació editorial que consideri convenient. De ser acceptada pels autors, aquests hauran de lliurar l'article amb els canvis suggerits.

— Els autors responen davant l'ACCA de l'autoria i l'originalitat dels articles presentats. És a dir, els autors garanteixen que els articles lliurats no contenen fragments d'obres d'altres autors, ni fragments de treballs propis publicats anteriorment; que el contingut dels articles és inèdit, i que no s'infringeixen els drets d'autor de tercers. Els autors accepten aquesta responsabilitat i s'obliguen a deixar indemne l'ACCA de qualsevol dany i perjudici originats per l'incompliment de la seva obligació. Així mateix, han de deixar constància en els articles que enviïn a la revista de les responsabilitats derivades del contingut dels articles.

— És responsabilitat dels autors obtenir els permisos per a la reproducció sense restriccions de tot el material gràfic inclòs en els articles, així com garantir que les imatges i els vídeos, etc., han estat realitzats amb el consentiment de les persones que hi apareixen, i que el material que pertany a tercers està clarament identificat i reconegut dins del text. Així mateix, els autors han d'entregar els consentiments i les autoritzacions corresponents a l'ACCA en lliurar els articles.

— L'ACCA està exempta de tota responsabilitat derivada de l'eventual vulneració de drets de propietat intel·lectual per part dels autors. En tot cas, es compromet a publicar les correccions, els aclariments, les retraccions i les disculpes si escau.

— Els continguts publicats a la revista estan subjectes —llevat que s'indiqui el contrari en el text o en el material gràfic— a una llicència Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades 3.0 Espanya (by-nc-nd) de Creative Commons, el text complet de la qual es pot consultar a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>. Així doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada.

— La revista no es fa responsable de les idees i opinions exposades pels autors dels articles publicats.

PROTECCIÓ DE DADES PERSONALS

L'Institut d'Estudis Catalans (IEC) compleix el que estableix el Reglament general de protecció de dades de la Unió Europea (Reglament 2016/679, del 27 d'abril de 2016). De conformitat amb aquesta norma, s'informa que, amb l'acceptació de les normes de publicació, els autors autoritzen que les seves dades personals (nom i cognoms, dades de contacte i dades de filiació) puguin ser publicades en el corresponent volum de la revista TECA.

Aquestes dades seran incorporades a un tractament que és responsabilitat de l'IEC amb la finalitat de gestionar aquesta publicació. Únicament s'utilitzaran les dades dels autors per a gestionar la publicació de la revista i no seran cedides a tercers, ni es produiran transferències a tercers països o organitzacions internacionals. Un cop publicada la revista, aquestes dades es conservaran com a part del registre històric d'autors. Els autors poden exercir els drets d'accés, rectificació, supressió, oposició, limitació en el tractament i portabilitat, adreçant-se per escrit a l'Institut d'Estudis Catalans (carrer del Carme, 47, 08001 Barcelona), o bé enviant un correu electrònic a l'adreça dades.personals@iec.cat, en què s'especifiqui de quina publicació es tracta.

Nota: aquests són els aspectes generals, però demanem que s'acordin amb el Comitè de Publicacions els aspectes concrets de cada article.

VOLS FER-TE SOCI/SÒCIA DE L'ACCA?

Molts professionals de l'alimentació i la nutrició ja gaudeixen dels avantatges d'associar-se a l'ACCA, i tu?

Estudiants (fins als 25 anys): 12 €/any

Persones jubilades: 20 €/any

Sòcies i socis numeraris: 50 €/any

BENEFICIS PER ALS SOCIS I SÒCIES DE L'ACCA

- Relació, interacció i treball en xarxa amb altres associats de l'ACCA.
- Accés gratuït i descomptes en conferències, jornades i màsters i postgraus organitzats per l'ACCA.
- Servei d'orientació professional a estudiants.
- Informació anticipada sobre actes relacionats amb temes d'alimentació a Catalunya.
- Accés a continguts específics relacionats amb temes d'alimentació dins la intranet de l'ACCA.
- Possibilitat de proposar cursos dins l'àmbit alimentari perquè siguin finançats per l'ACCA.
- Possibilitat de publicar continguts al web de l'ACCA i fer difusió d'esdeveniments organitzats pels socis o en què els socis participin.
- Avantatges especials per a la modalitat «soci protector» (empreses i organismes) (consulteu-ho).

Per a més informació contacta amb nosaltres:
acca@iec.cat



REGIÓ MUNDIAL DE LA GASTRONOMIA
CATALUNYA 2025

SOM
GASTRO-
NOMIA

