
Processos tecnològics d'elaboració de nous aliments: tecnologia clàssica d'elaboració d'aliments

PID_00219224

Núria Mach Casellas

Temps mínim de dedicació recomanat: 5 hores



Índex

Introducció.....	5
Objectius.....	7
1. Elaboració d'aliments mitjançant processos no tèrmics.....	9
1.1. Recepció, selecció i reducció de mida	9
1.1.1. Recepció i selecció	9
1.1.2. Reducció de la grandària	10
1.2. Barreja	11
1.2.1. La barreja de sòlids, pastes i líquids	11
1.3. Separació	12
1.3.1. Precipitació	13
1.3.2. Filtració	14
1.3.3. Centrifugació	21
1.3.4. Premsatge	21
1.3.5. Fraccionament	22
1.3.6. Extracció	23
1.4. Fermentacions alimentàries	25
1.4.1. Fermentacions làctiques	26
2. Tecnologies avançades de processament a temperatura ambient.....	32
2.1. Alta pressió	33
2.1.1. Alta pressió hidrostàtica	33
2.2. Ultrasons	35
2.3. Irradiació ionitzant	36
2.4. La radiació ultraviolada i els polsos d'elevada intensitat ultraviolada	38
3. Elaboració d'aliments mitjançant processos tèrmics.....	40
3.1. L'escaldada	41
3.1.1. Mètodes d'escaldada mixta	42
3.2. La pasteurització	42
3.3. L'esterilització i la uperització	43
3.4. Cocció	44
3.4.1. La fornada	45
3.4.2. La fregitel·la en oli	46
3.5. Les microones	46
4. Tecnologies avançades de processament a alta temperatura.	49
4.1. La cocció al buit	49

4.2. Escalfament òhmic	49
4.3. La descompressió instantània controlada (DIC)	51
5. Formes galèniques en la indústria alimentària.....	54
5.1. Encapsulació amb ciclodextrines	56
Bibliografia.....	59

Introducció

L'evolució de la indústria alimentària

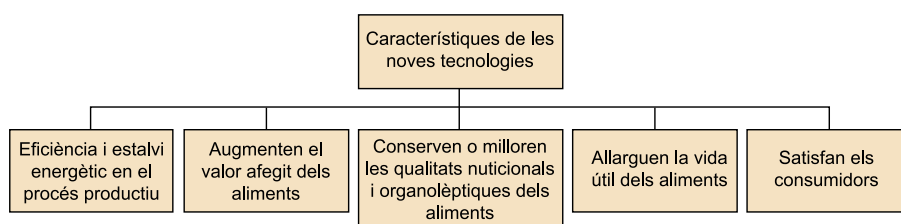
La indústria alimentària del present té els seus orígens en la prehistòria, fa aproximadament 770.000 anys. En aquest període, l'ésser humà va començar a tractar els aliments per a millorar-ne la comestibilitat i viabilitat. Va assecar el gra per a millorar-ne la conservació i proveir-se en altres èpoques de l'any i va rostir la carn per a millorar-ne la conservació i potenciar-ne el sabor (Fellows i altres, 1994). Posteriorment, durant la Revolució Industrial (segles XVIII i XIX) es van desenvolupar màquines per al tractament dels aliments, la qual cosa va permetre reduir el temps de treball, l'esforç requerit pels mètodes manuals i el nombre de persones involucrades. L'aigua, el vent i la tracció animal van substituir les tècniques més manuals. Els mètodes bioquímics d'elaboració es van utilitzar per primera vegada a Egipte per a la preparació d'aliments fermentats com ara formatges, vins o cervesa. En comparació dels mètodes cervesers moderns que utilitzen amilases de malt, els aliments tradicionals antics amb contingut alcohòlic solien fer servir un ferment microbià o *koji* que contenia amilases procedents de fonts microbianes per tal de degradar el midó de cereal.

Durant molt temps aquests mètodes de conservació i elaboració es van utilitzar tan sols a escala domèstica per a satisfer les necessitats familiars. No obstant això, a mesura que les societats es van desenvolupar, l'especialització i els primers oficis com a precursors de la indústria alimentària actual van anar emergint *in crescendo*. Durant el segle XIX es van construir fàbriques que van incrementar la capacitat de producció d'aliments bàsics com el midó, el sucre, la mantega i productes de paneteria. Cap al final del segle XIX, l'avenç del coneixement científic va permetre la transformació de la indústria artesanal en la indústria tecnificada (Duke-Rohner, 2007).

Situació actual de la indústria alimentària espanyola

El context actual de la indústria alimentària és complex, com correspon al primer sector industrial del nostre país, que representa gairebé el 17% del total de la producció industrial, aporta el 12% del valor afegit i empra el 15% de la mà d'obra del sector secundari (Ministeri de Medi ambient i Medi Rural i Marí, 2008). Es tracta d'un sector que competeix en un mercat com més va més integrat i subjecte a canvis molt considerables. Cada canvi en un dels seus elements afecta tota la cadena i altres elements relacionats. Així doncs, les noves tendències de consum, el resultat dels canvis en la població espanyola en termes d'edat i ocupació, i la preocupació social pels problemes de salut relacionats amb la dieta, mantenen en constant desenvolupament i innovació el sector de la indústria alimentària.

En l'escenari dels processos d'elaboració, la indústria alimentària està desenvolupant noves tecnologies i nous equips per a la mecanització i automatització de processos, amb sistemes de control molt avançats per a potenciar la competitivitat de les empreses agroalimentàries i assegurar l'habilitat de produir aliments segurs (Raventós, 2005). Les noves tecnologies i els nous equips per a la mecanització i l'automatització de processos apunten envers les tecnologies de separació i extracció, envers les tecnologies enzimàtiques, les altes pressions hidrostàtiques i la descompressió instantània controlada. A més, el desenvolupament de noves tecnologies en la indústria alimentària s'orienta com més va més a obtenir aliments mínimament processats, amb valor afegit, i al mateix temps segurs i que conservin o millorin les seves qualitats nutricionals i organolèptiques, la qual cosa permet allargar la vida útil de molts productes i satisfer els gustos del consumidor.



Característiques de les noves tecnologies

Per aquest motiu, resulta imprescindible conèixer l'efecte de les diferents tecnologies d'elaboració i conservació tèrmiques i no tèrmiques. L'optimització de l'ocupació d'aquests mètodes implica disseny de *processos combinats*, en els quals l'associació o aplicació simultània de diversos procediments tèrmics i no tèrmics, siguin clàssics o avançats, permeti potenciar l'efecte de cadascun i reduir l'impacte advers en les característiques dels aliments tractats. Tot i que actualment moltes empreses s'estan preparant per a adaptar les seves instal·lacions a les noves tecnologies, i moltes comencen a utilitzar tractaments no tèrmics, les tecnologies clàssiques d'elaboració d'aliments amb l'ús de la calor continuen constituint el gruix de la indústria alimentària. De fet, els processos amb calor constitueixen el procediment més usat per a perllongar la vida útil dels aliments i canviar les propietats nutritives i les característiques organolèptiques del producte (Herrero i Romero de Ávila, 2006).

Objectius

Els objectius d'aquest mòdul són:

- 1.** Conèixer les noves tecnologies i equips per a la mecanització i automatització dels processos tecnològics d'elaboració d'aliments, tèrmics i no tèrmics.
- 2.** Conèixer l'efecte de les diferents tecnologies d'elaboració tèrmiques i no tèrmiques sobre les característiques dels aliments.
- 3.** Presentar exemples de processos combinats en els quals l'associació o aplicació simultània de procediments clàssics i avançats permet potenciar i rendibilitzar el procés tecnològic en qüestió.

1. Elaboració d'aliments mitjançant processos no tèrmics

L'elaboració d'aliments mitjançant processos clàssics no tèrmics inclou des de la selecció i condicionament de matèries primeres que garanteixin les propietats i atributs sensorials, l'acceptació hedònica del consumidor, la viabilitat del producte, les característiques nutritives, la seguretat alimentària i la legislació vigent, fins a la reducció de la mida de les matèries primeres per a la fabricació o caracterització, la barreja i emmotllament, la deshidratació o la separació. Es tracta d'operacions unitàries molt esteses en el processament d'aliments en les indústries alimentàries, que es desenvolupen habitualment de manera consecutiva per a l'elaboració d'un mateix producte (Sevilla i altres, 2008).

No obstant això, la demanda creixent d'aliments mínimament processats que, al mateix temps que segurs, conservin les característiques nutricionals i respectin les exigències mediambientals, justifica el nou desenvolupament de tecnologies no tèrmiques per a la conservació i transformació d'aliments.

Són exemples d'aquestes noves tecnologies l'alta pressió hidrostàtica, els polsos elèctrics d'alta intensitat de camp, la irradiació, els polsos lumínics, els ultrasons, els camps magnètics oscil·lants i els additius químics i bioquímics, entre d'altres (Ohlsson, 2002).

1.1. Recepció, selecció i reducció de mida

1.1.1. Recepció i selecció

La recepció i selecció de matèries primeres són unitats de procés emprades en les primeres etapes del procés d'elaboració. Normalment, una vegada superats els controls, la matèria primera no s'incorpora directament a la línia d'elaboració, sinó que passa a la cambra d'emmagatzematge i *a posteriori* es continua amb la selecció. La selecció és una operació que separa les matèries primeres en grups amb propietats físiques diferents. Aquestes propietats poden ser el pes, el color, la mida, la forma, la varietat o el grau de maduresa de la matèria primera. Durant la fase de selecció, primer es prepara la matèria primera eliminant les deixalles i deixant només el que és susceptible de ser transformat; en segon lloc, es classifica en funció de la mida i la forma, i això determina en gran mesura l'acceptació del producte, i per tant el seu preu (per exemple, en el cas de fruites i ous). El tamisatge és l'operació més extensament utilitzada per a la classificació per mides i per a la caracterització de productes granulars i pulverulents. No obstant això, altres mètodes de classificació són la selecció gravimètrica, volumètrica, geomètrica, fotomètrica o la combinació entre aquests (sistemes de visió artificial mitjançant càmeres).

Sistemes de selecció de visió artificial mitjançant càmeres

Els sistemes de visió artificial mitjançant càmeres són capaços de classificar la fruita en una cinta transportadora segons la seva forma o mida, i determinar el grau de maduració per mitjà del color. Aquests sistemes de classificació estan constituïts freqüentment per cintes transportadores, encara que les companyies especialitzades en fruites i verdures generalment canalitzen els productes en diverses línies, utilitzant copes o recipients especials que passen sota les càmeres de visió. Altres aplicacions interessants en la indústria alimentària són les relacionades amb la inspecció d'ous, la classificació de carn avícola (diferenciació i classificació de cuixes o pits de pollastre), la inspecció de sistemes de fumats i el control de l'aliment enllaunat. Un altre sector alimentari en què la visió artificial està cada vegada més present és el de la paneteria i brioixeria. Hi ha sistemes de monitoratge en 3D de pa, dolços, *crackers* i galetes. Com que aquesta indústria ja utilitza sistemes d'empaquetatge automàtic, la visió artificial es fa cada cop més necessària per a evitar colls d'ampolla ocasionats per productes amb mides errònies. Les línies de producció són com més va més ràpides i, per tant, les persones que classifiquen aquest tipus de productes són menys capaces de controlar-les visualment. A mesura que la indústria de l'alimentació s'automatitza, la visió artificial va substituint la humana.



Sistema tradicional de classificació de fruita. Font: Giró (2005)



Sistema de visió artificial mitjançant càmeres capaces de classificar la fruita en una cinta transportadora segons la seva forma o mida, i determinar el grau de maduració per mitjà del color. Font: Giró (2005)

Els sistemes de visió artificial mitjançant càmeres no solament són capaços de classificar la fruita en una cinta transportadora segons la seva forma o mida i de determinar el grau de maduració per mitjà del color, sinó que poden inspeccionar i controlar la qualitat de molts altres productes.

1.1.2. Reducció de la grandària

La reducció de la matèria primera és una altra de les operacions unitàries més freqüents en la indústria alimentària. Això implica, per exemple, la reducció de la mida dels sòlids que es vulguin processar i fer una separació posterior en diferents fraccions de mida similar perquè siguin processades de manera independent (Aguado i altres, 2005). Entre els aparells més utilitzats per a la reducció de grandària trobem els molins¹ i les talladores².

⁽¹⁾Els molins s'utilitzen per a reduir la mida de partícules intermèdies en productes fins.

⁽²⁾Les talladores produeixen partícules de grandària i forma ben definits amb longituds generalment compreses entre els dos i els deu mil·límetres (Aguado i altres, 2005).

Exemples d'aplicació en la indústria alimentària

El procés de reducció de mida en hortalisses i fruites fresques

El procés de reducció de mida és molt important en el creixent mercat d'"aliments lles-
tos per al consum", és a dir, d'aliments elaborats amb hortalisses i fruites fresques sense
transformar, generalment classificades per mida, pelades, tallades o picades i envasades
per al consum (Reglament UE 2073/2005; Lafuente i altres, 2008).

El procés de reducció de mida en la indústria de l'embotit

A més, aquesta operació de reducció de mida és important en la indústria dels embotits.
Picar-los és una de les operacions que es fan a l'inici del procés d'elaboració d'embotits
crus madurats per a dividir la matèria primera en porcions més petites, de manera que
pugui ser modelada i disposada en la forma i grandària desitjades. El procés de picada té
com a objectiu utilitzar l'energia mecànica per a desorganitzar les estructures dels teixits
per les operacions de tall, aixafament i ruptura. La picada duu a les aglomeracions de
grans constituïts per cèl·lules més o menys intactes. L'assemblatge d'aquests grans confe-
reix l'estructura als productes de picada grossa. En aquesta etapa, la ruptura de les cèl·lules
és limitada i per això les quantitats de components proteics i lipídics obtingudes a partir
d'aquestes cèl·lules són escasses i depenen del mode de picada. Si l'acció mecànica con-
tinua, els components alliberats podrien interaccionar per a arribar a noves estructures
i llavors es tractaria d'operacions de reestructuració, conduents als productes de grans
fins. La temperatura és un dels principals paràmetres que s'han de controlar durant la
picada d'embotits. Així, per exemple, la temperatura òptima de la carn hauria d'estar al
voltant de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$; si la temperatura és inferior es formen una mena de serradures sense cap
consistència i si és superior es repica i es produeix l'empastament. Després de la picada,
la temperatura de la carn ha d'oscil·lar entre 0 i $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja que si és molt baixa es produei-
xen dificultats en l'embotidora, l'embranchada no serà regular i quedaran bosses d'aire: per
contra, si la temperatura és molt elevada, el risc és la fusió dels greixos.

1.2. Barreja

La barreja és una unitat de procés emprada per a combinar diferents ingredi-
ents, aconseguir determinades propietats funcionals i característiques organo-
lèptiques o transportar energia i matèria.

Segons sigui la naturalesa i l'estat físic dels components, l'operació unitària
d'agitació i barreja pot implicar la dispersió d'un gas en un líquid en forma
de petites bombolles, la dispersió d'un sòlid en el si d'un líquid, la barreja de
components sòlids, la barreja dels líquids miscibles o la barreja de dos líquids
immiscibles per a formar una emulsió. En general, s'aconsegueixen barreges
més uniformes amb els productes la grandària, forma i densitat dels quals són
semblants. La uniformitat del producte final depèn de l'equilibri aconseguit
entre els mecanismes que afavoreixen o dificulten la barreja, que depèn, al seu
torn, del tipus de mescladora, de les condicions durant el funcionament i de
la composició dels aliments.

1.2.1. La barreja de sòlids, pastes i líquids

La barreja de sòlids, igual que la barreja de líquids, implica la interposició de
dos components o més separats per a formar un producte més o menys unifor-
me, tot i que hi ha diferències significatives entre tots dos processos. La barreja
de líquids depèn fonamentalment de la creació de corrents de flux que trans-
porten el material no barrejat fins a la zona de barreja adjacent a l'agitador i
així s'obté una fase líquida homogènia. En el cas de sòlids i pastes, no es pro-
dueixen aquests corrents i l'homogeneïtzació és menor. La barreja de sòlids té

lloc, en general, mitjançant tres tipus de mecanismes: transport de producte o grup de partícules d'un punt a un altre (convenció), moviment aleatori de partícules individuals (difusió) i mitjançant cisallament o tall. En la majoria dels equips de barreja intervenen els tres mecanismes, tot i que un tipus particular de mecanisme pot ser el que predomini en un determinat equip. Les propietats dels ingredients que més influeixen en el grau de barreja aconseguït són la grandària, la forma i la densitat de les partícules. Com més semblants siguin aquestes propietats més fàcil és l'operació de barreja i més íntima la barreja resultant.



Diferents màquines mescladores d'ús habitual en la indústria

En la indústria, actualment trobem les màquines mescladores, les mescladores de doble Z, les mescladores combinades amb picadores, les mescladores amb tapa de tancament hermètic per a treballar al buit o sota atmosfera de CO₂ o de gasos inerts.

El procés de barreja en la fabricació de gelats

La barreja d'ingredients és un procés bàsic en moltes de les fàbriques d'aliments. Així, per exemple, els gelats són preparacions alimentoses resultants de batre i congelar una barreja pasteuritzada i homogeneïtzada de llet, derivats làctics i altres productes que han de mantenir un grau de congelació suficient fins al moment del consum. La seva composició varia segons quins siguin els ingredients i la manera d'elaboració. Se'ls pot incorporar xocolata, cafè, fruites, sucus o xarops.

1.3. Separació

Els mètodes clàssics de separació d'aliments són la precipitació, la sedimentació gravitatòria, la centrifugació, el premsatge i l'extracció mitjançant solvents químics. No obstant això, actualment les tecnologies de separació aposten pel desenvolupament de la separació mitjançant membranes amb més selectivitat i durada que s'utilitzin en la filtració més enllà dels productes làctics i amb tècniques de separació millors amb la finalitat d'obtenir extractes naturals de gran puresa. A més hi ha una clara aposta per les tecnologies d'extracció per fluids supercrítics amb gasos inerts a altes pressions per a la separació de productes de matrius complexes i per a les tecnologies de mòlta criogènica a -100 °C o separació electrostàtica. L'extracció amb CO₂ supercrític està plenament consolidada a escala comercial per a l'obtenció d'aromes i sabors d'espècies i herbes aromàtiques, cafè i te sense cafeïna. La mòlta criogènica a -100 °C busca fraccions de grans purificades mecànicament per a avaluar l'impacte tecno-

funcional i nutricional de cada teixit perifèric i, d'aquesta manera, fixar objectius per a la producció de farines condicionades, per exemple. En canvi, amb la separació electrostàtica, les partícules procedents de les diferents parts del gra es carreguen de manera diferent en electricitat estàtica i se separen segons la seva càrrega en un camp elèctric (Greffeuille i altres, 2005).

1.3.1. Precipitació

La precipitació és una unitat de procés de separació que s'empra per a l'obtenció d'una fase sòlida en el si d'un líquid, generalment per addició d'un reactiu que forma un precipitat amb algun ió de la dissolució o per concentració de la dissolució. El reactiu determina principalment la cinètica del procés, la composició de l'efluent i el flux d'efluent que es tractarà. La cinètica del procés de precipitació química al seu torn depèn de variables com la concentració o la temperatura i de les condicions del procés com la dosificació del reactiu precipitant i l'agitació del sistema per a aconseguir una reacció uniforme en tota la massa reaccionant. En la majoria dels casos, el precipitat es recupera del fons de la dissolució mitjançant filtració, decantació o centrifugació.

Precipitació de proteïnes per canvi de pH

Un dels precipitats més conegut en la indústria alimentària és el proteic. El consum de soja s'ha anat incrementant a causa del seu alt valor nutricional i per les excel·lents propietats funcionals i nutricionalment (L'Hocine i altres, 2006). La indústria alimentària ha aprofitat aquesta característica per a elaborar una àmplia gamma de productes, en els quals aquesta proteïna es pot utilitzar com a font de proteïna (aïllats proteïnics) o pot conferir propietats funcionals als aliments (additiu). Encara que hi ha diferents mètodes per a la precipitació de proteïnes, un dels més usats és la precipitació de les proteïnes en el seu punt isoelèctric. El pH de la solució proteínica s'enriqueix i s'ajusta al punt isoelèctric per a precipitar les partícules de proteïna.

Procés de precipitació de les proteïnes de la soja

El procés de precipitació de les proteïnes de la soja per a satisfer els productes de soja, com ara la llet, consisteix a preparar la lletada usant foliols de soja sense greix o farina i aigua, a separar els sòlids sense proteïna i fibres i, finalment, a precipitar, separar i assecat la proteïna. En el primer pas del procés d'extracció, la lletada de farina de soja i aigua es produeix per l'extracció de les proteïnes de la solució; posteriorment les fibres baixes en proteïnes se separen de la solució per a enriquir la proteïna mitjançant la força centrífuga. La precipitació de proteïnes és el segon pas que s'ha de fer i en aquest el pH de la solució proteínica s'enriqueix i s'ajusta al punt isoelèctric per a precipitar les partícules de proteïna. Després, cada zona separada del licor mare es processa per centrifugació.

Precipitació mitjançant fluids supercrítics

La precipitació mitjançant fluids supercrítics³ com *Gas AntiSolvent* (GAS), *Supercritical Anti Solvent* (SAS) i *Supercritical Extraction of Emulsions* (SEE) s'està estudiant per a millorar les característiques nutritives i organolèptiques dels precipitats. Aquestes tècniques es basen en la substitució dels dissolvents orgànics per un fluid supercrític, en particular per diòxid de carboni supercrític.

⁽³⁾El fluid supercrític és una substància que es troba a temperatura i pressió superiors a les del seu punt crític i que s'utilitza per a obtenir cristalls de precipitat amb morfologia molt uniforme, alta puresa i lliures de residus de dissolvent.

El fluid supercrític és una substància que es troba a temperatura i pressió superiors a les del seu punt crític. En el cas del diòxid de carboni, que és el fluid supercrític més emprat per a aplicacions relacionades amb el processament de substàncies naturals, aquest punt crític es troba a 31,1 °C i 73,8 bar (Brunner, 1994). L'interès en l'ús d'aquest tipus de fluids està en les seves propietats, que amb freqüència es descriuen com a intermèdies entre les d'un líquid i un gas. La densitat i la capacitat com a dissolvent del CO₂ poden ser comparables a les de dissolvents líquids orgànics, mentre que la baixa viscositat i l'elevada difusivitat en aquest fluid són similars a les que s'observen en gasos (Yeo i Kiran, 2005). A més, resulta especialment útil la possibilitat de modificar les propietats amb canvis en la pressió i la temperatura, la qual cosa provoca que el fluid supercrític sigui més similar a un líquid o a un gas i el fet de poder-se eliminar del producte final mitjançant una simple despressurització (Pasquali i altres, 2006). Altres avantatges principals són les suaus temperatures en el procés, que eviten danyar el producte, i també el fet de ser un element no inflamable, no corrosiu, no tòxic, no cancerigen i altament selectiu.

Per al procés de precipitació, s'introdueix l'aliment amb alt contingut de l'element que es vol precipitar a la cel·la d'extracció, on tot seguit s'introdueix el CO₂ en condicions supercrítics. El fluid supercrític es posa en contacte amb les cèl·lules prèviament trencades del material que es troba en la cel·la d'extracció i s'extreuen els components presents en aquest material. El fluid supercrític, carregat amb els compostos precipitats, s'exposa a una disminució de la pressió. Juntament amb la disminució de la pressió es pot variar la temperatura, augmentant-la o disminuint-la en funció de la composició inicial del material de partida. Aquesta variació de la pressió i de la temperatura representa una disminució de la densitat del diòxid de carboni supercrític i propicia la precipitació dels compostos continguts en el fluid supercrític procedent de la cel·la d'extracció, per la qual cosa s'originen dues fraccions: una de sòlida formada per cristalls en un percentatge superior al 85%, preferiblement superior al 90%, i una altra fracció formada pel fluid supercrític carregat amb restes.

1.3.2. Filtració

La filtració és una unitat de procés de separació emprada per a retenir una quantitat discreta i dispersa de matèria, ja sigui sòlida, líquida o gasosa suspesa en un fluid matriu. És la separació dels sòlids suspesos en líquids per pas de la barreja a través d'una capa de material porós. El cas més freqüent és el de la retenció d'un sòlid contaminant, en suspensió, en un corrent líquid; però,

igualment, poden ser retingudes partícules líquides o sòlides d'un corrent de gas (Valdemoros, 2008). La filtració pot servir també per a concentrar, extreure, purificar o fraccionar substàncies d'interès a temperatura ambient, a més de disminuir els costos d'empaquetatge, transport i emmagatzematge. Destaca la capacitat de fer concentracions o extraccions de substàncies a temperatura ambient, la qual cosa permet conservar millor les propietats de la substància sense destruir nutrients.

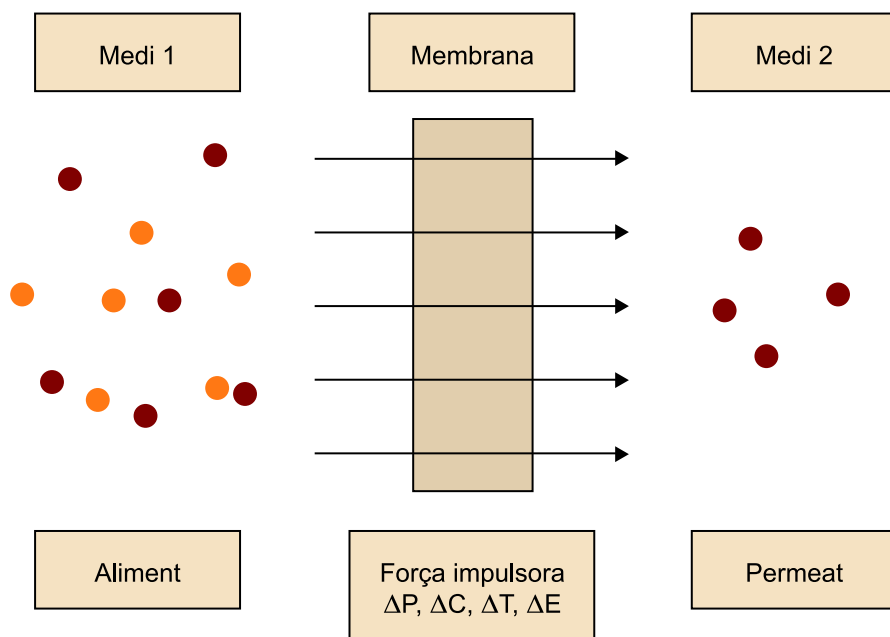
Els filtres es poden classificar en tres grups (Aguado i altres, 2005):

- Filtres de pressió. La filtració es troba a pressió atmosfèrica i el xarop, a una pressió superior.
- Filtres de buit. El xarop es troba a pressió atmosfèrica i el filtrat, a una pressió inferior.
- Filtres centrífugs. La diferència de pressions s'aconsegueix per efecte de la força centrífuga desenvolupada en fer girar el sistema a elevada velocitat.

El procés de filtració es caracteritza per ser versàtil (hi ha una àmplia varietat de tipus d'elements filtrants, fabricats segons diferents dissenys, grandàries i graus de filtració i una generosa oferta comercial de maquinaris adaptats) i per a disposar de nombrosos materials de fabricació per a assegurar una compatibilitat correcta química tant amb el producte que es tractarà com amb els fluids auxiliars involucrats en el procés, com ara dissolvents, aigua calenta, desinfectants o vapor en línia. A part, implica un baix consum energètic, és escalable i respectuós amb el medi ambient (Valdemoros, 2008).

Filtració mitjançant membranes

Els processos de membrana s'utilitzen per a concentrar o fraccionar un líquid en dos amb diferent composició. El procés de separació es fonamenta en la permeabilitat selectiva d'un o més components del líquid a través de la membrana i en un gradient de pressió hidrostàtica.



Representació esquemàtica de dos mitjans separats per una membrana. Font: Raventós (2005)

Avantatges i inconvenients de la separació per membranes (Raventós, 2005)

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> No és necessari escalfar l'aliment (no hi ha pèrdua de productes termolàbils). 	<ul style="list-style-type: none"> Inversió inicial important.
<ul style="list-style-type: none"> No exigeix un canvi de fase. 	
<ul style="list-style-type: none"> Poques despeses de manteniment i de mà d'obra. 	<ul style="list-style-type: none"> Variacions de flux del producte que es vol filtrar.
<ul style="list-style-type: none"> Aplicable a tot tipus de suc. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta freqüència d'obstrucció de la membrana, la qual cosa redueix el temps de funcionament efectiu entre dues sessions de neteja consecutiva.
<ul style="list-style-type: none"> Té poques exigències d'espai. 	<ul style="list-style-type: none"> Implica la concentració i el desenvolupament de microorganismes si el temps de permanència i la temperatura de treball no són els adequats.

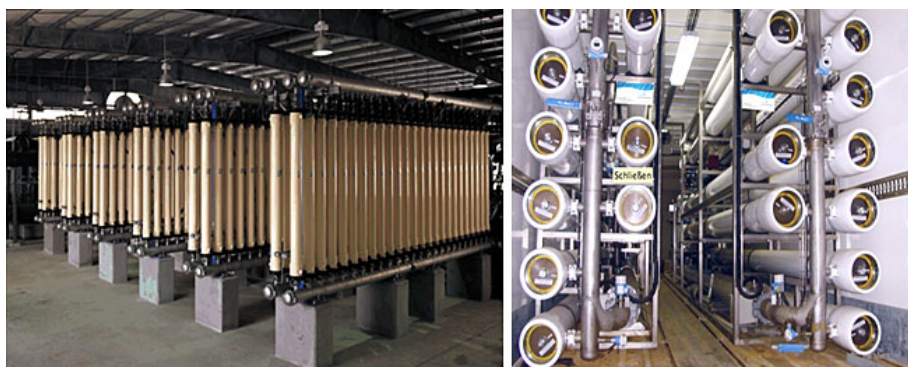
Els processos de filtració per membrana més utilitzats són la microfiltració, la ultrafiltració, la nanofiltració i l'osmosi inversa. Aquestes tècniques difereixen entre si essencialment en la grandària de pas i en la pressió a la qual treballen. La grandària del porus disminueix en l'ordre d'ultrafiltració, nanofiltració i osmosi inversa (Mañas, 2008). A mesura que disminueix el porus, la pressió de treball augmenta i la qualitat del medi filtrant obtinguda millora. No obstant això, cal destacar les aplicacions de noves tècniques com l'osmosi directa, els detractors de membrana i la destil·lació osmòtica. De totes les aplicacions, cal destacar l'obtenció de productes de qualitat amb la conservació de les propietats fisicoquímiques, els costos relativament baixos, i que estan completament integrades en la majoria de processos productius que requereixen una etapa de separació. El problema general per a tots els processos de separació per membranes és la disminució del flux de permeat ocasionat per l'embrutiment intern i extern de les membranes. L'embrutiment per microfiltració, ultrafiltra-

ció, nanofiltració i osmosi inversa és rellevant a causa del caràcter del procés i en restringeix l'aplicació al tractament de solucions de concentracions inferiors a 30 °Brix. Així, per exemple, de moment, les aplicacions de processos de separació per membranes en la indústria de suc s'han de combinar amb mètodes tradicionals de separació.

Múltiples aplicacions de la separació per membranes en la indústria de suc

Aplicació	Tipus de suc	Tipus de membrana
Clarificació	<ul style="list-style-type: none"> Sucs cítrics Fruïtes tropicals Suc d'àloe vera 	Microfiltració
Concentració	<ul style="list-style-type: none"> Sucs cítrics Suc de poma Suc de pera Suc de pinya Enzims 	Ultrafiltració i osmosi inversa Ultrafiltració Ultrafiltració Ultrafiltració i osmosi inversa Ultrafiltració i osmosi inversa
Desacidificació	<ul style="list-style-type: none"> Sucs cítrics (aranja, llimona, llima, taronja i mandarina) 	Ultrafiltració i osmosi inversa
Concentració d'enzims	<ul style="list-style-type: none"> Tot tipus de suc 	Ultrafiltració i osmosi inversa
Recuperació i concentració de components o tots dos	<ul style="list-style-type: none"> Proteïna de soja Midó de patata Colorants naturals 	Ultrafiltració i osmosi inversa
Obtenció de colorants naturals	<ul style="list-style-type: none"> Sucs (suc de nabius) 	Ultrafiltració i osmosi inversa

La separació per membranes s'utilitza en la indústria alimentària per als processos de concentració, fraccionament i purificació de productes líquids, encara que es pot aplicar al tractament i recuperació d'aigua o residus de procés.



Sistemes diferents de separació per membranes

- La microfiltració. Procés de separació per membranes que consisteix en la separació de les partícules en suspensió en un líquid, principalment bacteris i llevats. Les membranes de microfiltració es classifiquen pel diàmetre de les partícules més petites que queden retingudes, i oscil·la entre els 0,1

i els 10 µm. Les pressions de treball oscil·len entre 0,1 i 2 bar (Raventós, 2005).

- La ultrafiltració. La tecnologia d'ultrafiltració mitjançant membrana, és un procés de separació per membranes que permet, amb un estudi previ de cada cas particular, aconseguir garanties de turbiditat en sortida (inferiors a 0,1 NTU) i l'eliminació de paràmetres microbiològics de fins a 5 log. És destacable la tolerància d'aquestes membranes al clor i a altres oxidants.
- La nanofiltració. La tecnologia de nanofiltració és un procés de separació que proporciona un rebuig òptim de duresa (fins al 90%) en aplicacions d'estovament i redueix considerablement els costos d'explotació, ja que treballa a baixa pressió. La grandària del porus d'aquest tipus de membrana permet també l'eliminació de bacteris, virus i pesticides. A causa dels alts nivells de retenció i a una despesa menor d'energia que l'osmosi inversa, és una tècnica perfecta per a obtenir una aigua amb àmplia utilització en la fabricació de begudes, atesos els requisits de salinitat i duresa habitualment establerts. També s'aplica per a separar colorants orgànics i precursors del trihalometà, com l'àcid húmich, i en la indústria sucrera s'aplica com un dels passos en la clarificació i concentració de xarops.
- Osmosi inversa. La tecnologia d'osmosi inversa és un procés de separació amb un ventall d'aplicacions molt extens, ja que la gran majoria de membranes d'osmosi inversa supera en un 99% el rebuig de sals (i arriba fins i tot al 99,5%) i elimina bacteris, virus i pesticides (Mañas, 2008). La qualitat del concentrat és molt bona i el producte resultant no pateix cap dany tèrmic. En general, l'osmosi inversa emprava membranes semipermeables que permeten el pas d'aigua i retenen alhora la majoria dels soluts presents en la solució. L'aigua es transporta a través de la membrana pel gradient de pressió al qual està exposada la solució: com més gran és el gradient de pressió, més gran és el flux de permeat de l'aigua. Els desavantatges de l'osmosi inversa estan associats amb la interacció entre la membrana i la solució. El primer desavantatge és l'embrutiment de la membrana durant el procés i la consegüent reducció en la densitat del flux de permeat que comporta. El segon desavantatge és la reducció del gradient de pressió a causa de l'augment de la pressió osmòtica de la solució durant el procés de concentració, i aquest augment de la pressió osmòtica deriva finalment en unes densitats de flux de permeat molt petites quan la concentració del suc aconseguix entre els 25° i 30° Brix. Per tant, per a poder aplicar l'osmosi inversa cal minimitzar l'embrutiment i resoldre el problema de viscositat de la solució que redueix la força motriu. L'embrutiment pot disminuir si la solució es prefiltra abans d'arribar a l'etapa de l'osmosi inversa. Durant la producció de suc de fruites, s'aplica normalment la ultrafiltració com a pretractament.

Exemples d'utilització en la indústria alimentària

L'osmosi inversa s'utilitza per a la concentració de compostos de pes molecular baix i ions per l'alta selectivitat (retenció de partícules > 150-250 Da) i per a la concentració i purificació de suc de fruites abans de la concentració per evaporació. També es pot utilitzar per a la concentració d'enzims i olis vegetals. Altres aplicacions descrites són la concentració de midó de blat, àcid cítric, clara d'ou i llet, i també per a la clarificació de vi i cervesa.

L'osmosi inversa separa i concentra compostos de pes molecular baix i té un ventall d'aplicacions molt extens. És important minimitzar l'embrutiment i resoldre el problema de viscositat de la solució que redueix la força motriu per a augmentar l'eficiència del procés. S'utilitza en la indústria alimentària per a la concentració i purificació de suc, midó de blat, àcid cítric, clara d'ou i llet, i també per a la clarificació de vi i cervesa.

- **Osmosi directa.** La tecnologia d'osmosi directa és un procés de separació per membrana poc investigat que constitueix una alternativa als processos de separació per membrana d'alts requisits energètics com l'osmosi inversa. En el procés, la membrana separa la solució que es vol concentrar d'una solució de pressió osmòticament més alta. La diferència de pressió osmòtica entre les dues solucions genera el flux osmòtic d'aigua a través de la membrana. El transport d'aigua té lloc sempre que el potencial químic de l'aigua de la solució que es vol concentrar sigui més alt que el potencial del costat del permeat. Com a agents osmòtics es poden emprar solucions de sals (NaCl), sacarosa, melasses i xarops de blat de moro. L'elecció d'una solució d'extracció és decisiva per a l'eficàcia del procés i té com a principals característiques una alta solubilitat en aigua, baixa volatilitat i viscositat, alta tensió superficial; finalment, no ha de ser una substància tòxica. Entre els avantatges d'aquest procés hi ha un embrutiment menor que en el cas dels processos que requereixen aplicació de pressió com a força motriu, baix consum d'energia, senzillesa i fiabilitat. En el procés d'osmosi directa es poden utilitzar membranes hidrofíliques de propietats requerides per la separació (flux, selectivitat).

Exemples d'aplicació en la indústria alimentària

L'osmosi directa s'utilitza actualment per al condicionament d'aigües i també en el sector de producció de suc.

En l'osmosi directa la membrana separa la solució que es vol concentrar d'una solució de pressió osmòticament més alta. És una tècnica neta, de baix consum d'energia, senzilla i fiable. Actualment en la indústria es fa servir per al condicionament d'aigües i també en el sector de producció de suc.

- **Contactors de membrana.** La tecnologia dels contactors de membrana és un procés de separació per membrana que es troba entre les tècniques de

separació més noves i amb avantatges indiscutibles. A diferència dels processos basats en el tamisatge (microfiltració, ultrafiltració, nanofiltració i osmosi inversa), el flux depèn, en aquest cas, només de la diferència de potencial osmòtic, de la temperatura o concentració de les solucions que hi ha en tots dos costats de la membrana. Les úniques pressions hidràuliques requerides són les necessàries per a bombar la solució osmòtica fins a la superfície de la membrana.

Exemples d'aplicació en la indústria alimentària

La tecnologia dels contactors de membrana es fa servir per a l'extracció de O₂, N₂ i CO₂, i també per a l'eliminació de bombolles d'aigua, tintes, emulsions i reveladors. Altres usos industrials són la humidificació de gasos, la hidrogenació, la nitrogenació i la carbonatació.

- Destil·lació per membranes (procés tèrmic). La tecnologia de la destil·lació per membranes és un procés de separació per membrana també conegut com a destil·lació transmembranària, evaporació per membranes o termo-evaporació. Tot i ser desenvolupada com una tècnica d'eliminació d'aigua als anys seixanta, no s'havia estudiat detalladament fins als anys noranta, quan el desenvolupament de les membranes i la comercialització van convertir el procés en econòmicament més viable. El procés es basa en el transport simultani de massa i calor per una membrana microporosa i hidròfoba. La diferència de temperatura i el gradient de concentració creen un gradient de pressió de vapor que permet el pas de vapor per la membrana. L'aplicació de membranes que impedeixen l'entrada de l'aigua en els porus assegura la formació d'una interfase vapor-líquid (Fellows, 1994). El procés de destil·lació per membranes està afectat per la temperatura de l'aliment, la concentració i, finalment, el cabal. Els dos avantatges més destacats de la destil·lació per membranes són una selectivitat teòrica del 100% per als components no volàtils i una interacció mínima entre la membrana i els components de la solució durant el procés. D'altra banda, la baixa pressió de treball fa de la destil·lació per membranes una alternativa per als processos de separació que requereixen inversió d'energia, com la destil·lació convencional o l'osmosi inversa. A més, el cost energètic de la destil·lació per membranes es pot reduir al mínim utilitzant l'energia solar.

Exemples d'aplicació en la indústria alimentària

La tecnologia de la destil·lació per membranes s'aplica bàsicament per a augmentar la concentració dels components no volàtils fins a arribar a unes concentracions altes, des-salar l'aigua, i també per a recuperar els compostos volàtils (aromes).

La destil·lació per membranes consisteix en el transport simultani de massa i calor per una membrana microporosa i hidròfoba. Presenta una selectivitat teòrica del 100% per als components no volàtils i una interacció mínima entre la membrana i els components de la solució durant el procés. D'altra banda, la baixa pressió de treball redueix la inversió d'energia. S'aplica bàsicament per a augmentar la concentració dels components no volàtils fins a arribar a unes concentracions altes, desalar l'aigua i també per a recuperar els compostos volàtils.

1.3.3. Centrifugació

La centrifugació és una unitat de procés que utilitza la força centrífuga per a incrementar la velocitat de separació entre dos líquids no miscibles o de sòlids suspesos en líquids (Fellows, 1994). Per això, la centrifugació és una alternativa als processos convencionals de sedimentació gravitatòria i filtració. No obstant això, cal tenir en compte l'elevat cost i fer un estudi econòmic de les diferents possibilitats. De manera molt general, es pot dir que la centrifugació pot ser una alternativa econòmicament viable quan en els processos es manejen partícules de petita grandària, quan les diferències de densitats entre les dues fases és petita, quan l'espai disponible és escàs i en el cas de productes d'alt valor afegit.

Per al diferent tipus de tractament, es diferencia entre sedimentació centrífuga i filtració centrífuga. Així mateix, es diferencien les centrífugues per a separacions de dos líquids immiscibles, les centrífugues per a separacions sòlid-líquid i els ciclons, àmpliament utilitzats per a l'eliminació de sòlids en corrents gasosos.

Usos de les centrífugues

En la indústria, les centrífugues s'utilitzen per al descrematge de la llet i per a la clarificació d'olis, extractes de cafè i suc diversos.

1.3.4. Premsatge

El premsatge és una unitat de procés que consisteix en la separació mitjançant pressió dels líquids retinguts en un sòlid. El líquid de vegades està xopant exteriorment el sòlid; per exemple, en el premsatge de tortons de filtració per a eliminar el líquid retingut durant el rentatge. Altres vegades el líquid pot estar a l'interior de les cèl·lules, les parets de les quals s'han de trencar per a permetre'n la sortida, com és el cas de l'extracció d'olis vegetals i suc de fruites. Les variables de què depèn el rendiment d'una operació de premsatge són múltiples i molt diverses, i entre aquestes destaca la resistència a la deformació dels sòlids, la pressió màxima que es pot aplicar en cada cas concret i la velocitat a la qual s'incrementa la pressió al llarg del procés, l'espessor de la massa

de sòlid humit que se situa en la premsa, la porositat de la massa de sòlids, la funció tant de l'estructura més o menys porosa del sòlid com de la pressió aplicada, i la viscositat del líquid que es pretén extreure.

Usos del premsatge en la indústria alimentària

El premsatge o extracció per pressió s'utilitza principalment per a l'extracció d'olis i suc. En el processament de fruits (per exemple, el del raïm per a l'extracció de most per a vinificació) la premsa ha d'extreure gran quantitat de suc sense extreure alhora quantitats apreciables de sòlid o compostos fenòlics de la pell, responsables de l'amargor i l'enfosquiment. Això s'aconsegueix utilitzant pressions baixes i un nombre menor de premsatges. Durant el premsatge, la pressió s'ha d'incrementar progressivament per a evitar la formació d'un tortó impenetrable, ja que el material sòlid es deforma amb relativa facilitat. El premsatge també és fonamental en la planta d'elaboració de formatge. El premsatge en aquestes indústries es fa normalment en premses túnel, per a les quals les taules rodants estan especialment adaptades. Aquestes premses disposen d'unes guies laterals per a fixar la taula rodant en la posició correcta durant el premsatge i serveixen de topalls de seguretat durant aquesta operació. Normalment estan equipades amb cilindres d'un determinat diàmetre i presenten un rang de pressió entre 1,5 i 6 bar. El premsatge s'aconsegueix per l'acció de cilindres de premsatge individuals que actuen sobre cada tapa dels motlles amb formatge. L'elevació progressiva de la pressió des de 0 fins al valor establert (0,5-0,6 bars manomètrics) es fa en cinc minuts. Normalment, la premsa disposa d'un temporitzador regulable per a interrompre l'operació de premsatge una vegada s'ha complert el temps preestablert (Sánchez i altres, 2003).

1.3.5. Fraccionament

El fraccionament és una unitat de procés de separació mecànica entre els components amb diferents característiques físicoquímiques.

El fraccionament per via seca

En els últims anys, un dels processos més interessants en l'àmbit industrial per tots els seus avantatges és el fraccionament per via seca (Arqué-Clemens, 2008). En el cas del fraccionament de greixos i olis, aquest procés es basa en una cristallització física de l'oli o greix en un reactor a temperatura i temps controlats. En aquesta etapa de cristallització, els cristalls d'oli de la fase més saturada s'aglomeren entre ells a manera de cristalls per l'efecte de la disminució de la temperatura. Posteriorment, i a la mateixa temperatura, se separa la massa d'oli en els seus dos components físicament visibles: l'estearina i l'oleïna. Perquè el fraccionament per via seca funcioni, l'oli o greix que es pretén fraccionar ha de contenir un mínim de fase saturada perquè sigui viable el fraccionament. Per exemple, en un oli de soja, no tindria sentit el fraccionament perquè s'hauria de fer a temperatures baixes (inferiors a 5 °C) i es fraccionaria poc. El fraccionament es du a terme en un cristallitzador amb agitador de disseny adequat i amb temperatura controlada en temps i valor. Aquest procés és avantatjós perquè es tracta d'un procés continu, higiènic i segur, vàlid per a tots els olis saturats tant d'origen vegetal com animal, lliure d'utilització de productes químics en l'oli i ajustable a la qualitat de l'oleïna i de l'estearina en el procés, segons la destinació final de cada lot. A més, és un sistema amb un baix nivell de cost d'instal·lació i de funcionament i pot ser un procés hermètic.

Tot i que aquest tipus de processos s'ha associat a la indústria del greix animal o a olis vegetals saturats, també té interès en la indústria dels nutricèutics per a l'obtenció de la fase oleïna d'oli de peix blau, per la seva alta composició d'omega-3. Recentment també ha adquirit importància en l'aplicació a la indústria del biodièsel, en què l'estearina s'ha d'eliminar de l'oli abans de produir el biodièsel i així reduir tant índex CFPP com sigui possible.

El fraccionament per via seca apareix com una alternativa potencial per als solvents orgànics tòxics en la indústria d'olis i greixos, en la indústria nutricèutica i en la del biodièsel.

1.3.6. Extracció

L'extracció és una unitat de procés que permet separar els components presents en una barreja mitjançant el contacte amb un dissolvent que dissol selectivament alguns d'aquests components. Es tracta, per tant, d'una operació de transferència de matèria en la qual determinats components es transporten d'una fase a l'altra (Fellows, 1994). Si l'objectiu d'interès de la indústria alimentària és la recuperació de determinades substàncies, es parla d'extracció positiva, mentre que si l'objectiu d'aquesta operació és purificar un element per eliminació de determinats components no desitjats, que són extrets mitjançant un dissolvent, es parla d'extracció negativa.

L'extracció positiva sòlid-líquid es du a terme posant en contacte l'aliment sòlid de partida amb el dissolvent durant un període de temps determinat. A continuació, la barreja resultant se separa per a donar lloc a dues fases: l'extracte i el residu, també denominat esgotat o refinat. Entre els factors que influeixen en l'extracció sòlid-líquid trobem el dissolvent, la temperatura, el pH i la grandària de les partícules sòlides. El dissolvent més utilitzat en la indústria alimentària és l'aigua, ja que combina un baix preu i una elevada disponibilitat amb un gran poder de dissolució de nombrosos components.

La demanda creixent de productes d'alt valor afegit (que incorporin substàncies naturals, principis actius amb valors nutritius) derivada dels nous hàbits socials, juntament amb les millores en els processos productius i les exigències legals, està obligant les indústries alimentàries a millorar les seves operacions unitàries tradicionals d'extracció, a buscar nous processos industrials per aconseguir millorar la qualitat del producte separat sense generar residus i a adaptar els productes a les tendències del consum.



Extracció d'olis a partir de llavors i extracció del sucre que conté la remolatxa sucrera

Algunes de les noves tecnologies d'extracció amb més perspectives de desenvolupament futur són l'extracció per fluids supercrítics, l'extracció amb líquids sobreescalfats o fluids pressuritzats, les extraccions per microones i per ultrasons (Santantos i Quinela, 2006), i també la mòlta criogènica i la separació electroestàtica.

Exemples d'aplicació en la indústria

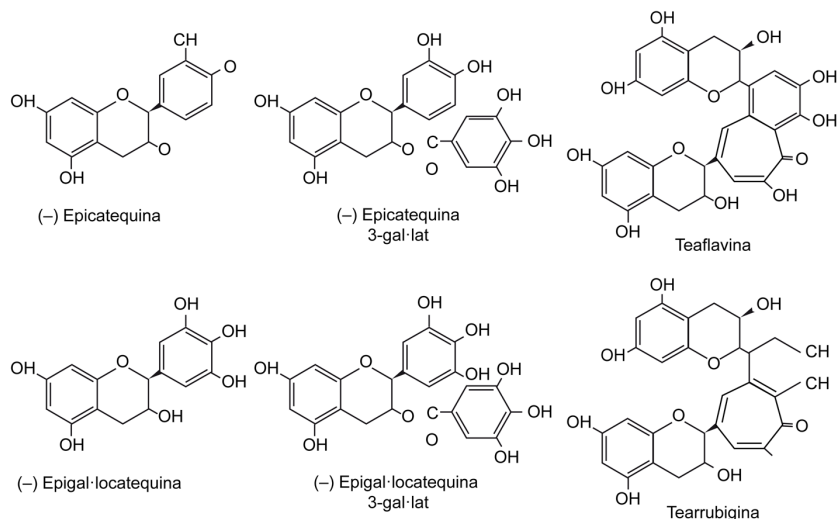
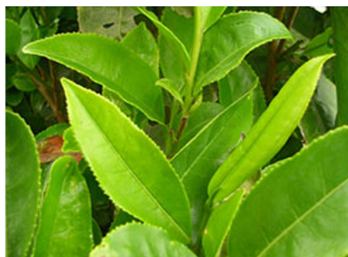
Usos de l'extracció sòlid-líquid

Aquest tipus d'extracció és la de més importància en el processament i transformació d'aliments. Alguns exemples d'extracció sòlid-líquid són l'extracció del sucre que conté la remolatxa sucraera, l'extracció d'olis a partir de fruits secs i llavors, la recuperació de l'oli restant en el residu sòlid obtingut per premsatge de l'oliva o la fabricació de cafè instantani per extracció dels grans de cafè torrats i mòlts.

Usos de l'extracció amb fluids supercrítics

Els fluids supercrítics s'estan utilitzant per a l'extracció de principis actius herbacis a partir de plantes aromàtiques, d'extractes d'espècies per a colorants alimentaris i olis essencials a partir de llavors, per al desgreixatge d'aliments, per a l'extracció de colesterol d'olis, carns i làctics, per la descafeïnització del cafè i per a la recuperació de la nicotina del tabac.

El te verd ha estat una de les begudes més populars als països asiàtics i ara s'usa àmpliament a tot el món a causa dels seus efectes benèfics per a la salut. El te verd té molts components interessants com la cafeïna, les catequines, els greixos, els aminoàcids, els compostos aromàtics, les vitamines o la clorofil·la (Stone i altres, 1991).



Les catequines del te verd. Font: Valenzuela (2004)

Els principals components farmacològics del te verd són la cafeïna i les catequines. Si bé les catequines són conegudes pels seus múltiples efectes bioactius, com l'antioxidació anticancerígena i antiinflamatòria, la cafeïna té efectes adversos en els humans, com la privació del son, avortaments i hipersensibilitat. Per tant, per a una producció de te més saludable és molt important l'extracció selectiva de la cafeïna del te verd, alhora que es conserven les catequines.

Els solvents orgànics com l'acetona, el metanol, l'etanol o l'acetonitril han estat usats per a obtenir te verd lliure de cafeïna (Wang i Helliwell, 2000), i també la barreja d'etanol amb aigua per a extreure la catequina del te verd, tot i que els seus residus tenen efectes potencials adversos en la salut humana. L'extracció amb fluids supercrítics (bàsicament diòxid de carboni) apareix com una alternativa potencial per als solvents orgànics tòxics. Atès que entre les seves característiques la viscositat de CO₂ és de cinc a quinze vegades menor que la dels solvents orgànics convencionals o aquosos, això comporta una penetració fàcil de CO₂ en la matriu de la mostra i una transferència dels extractes desitjats de la mostra matriu a la fase de CO₂ (Mohamed i Mansoori, 2002). En contrast amb els solvents orgànics convencionals o aquosos convencionals, el poder solvent del CO₂ és molt sensible a petits canvis en els paràmetres experimentals com ara la pressió i la temperatura. Per tant, l'extracció selectiva dels compostos desitjats pot ser possible mitjançant un simple ajust dels paràmetres. Addicionalment, el poder dissolvent del CO₂ pot ser modificat fàcilment amb l'addició de cosolvent. Quan els extractes desitjats són compostos polars, el rendiment de l'extracció pot ser substancialment incrementat mitjançant l'addició d'una petita quantitat de solvents polars com ara etanol, acetona o aigua (Chang i altres, 2000).

El CO₂ supercrític s'ha aplicat també per a l'extracció d'àcids grassos poliinsaturats omega-3, molt valorats en la indústria alimentària pel seu paper com a aliment funcional, per a l'obtenció de concentrats proteics amb baix contingut lipídic i per a l'extracció d'olis de peix amb baix contingut en fosfolípids.

L'extracció amb fluids supercrítics apareix com una alternativa potencial per als solvents orgànics tòxics. Actualment s'utilitza en la indústria alimentària per a l'extracció d'olis essencials, per al desgreixatge d'aliments, per a l'extracció de colesterol, teïna i cafeïna o per a la recuperació de la nicotina del tabac, entre d'altres.

1.4. Fermentacions alimentàries

La fermentació alimentària és un dels mètodes més antics de conservació d'aliments utilitzats per l'ésser humà a causa de la reducció del valor de la humitat i de l'activitat d'aigua i també per la presència de pH àcid en concentracions que confereixen al producte un sabor característic (Franco i altres, 2002).

Els canvis provocats pels microorganismes en els carbohidrats d'un substrat determinat es poden utilitzar per a establir una classificació entre diferents tipus de fermentacions:

- Aquelles en les quals els principals productes resultants de la fermentació estan constituïts per àcids orgànics.
- Aquelles en les quals aquests productes resultants estan constituïts bàsicament per etanol i anhídrid carbònic.

Aquells microorganismes que donen lloc pràcticament a un únic producte es denominen *homofermentatius* i els que originen productes diversos, *heterofermentatius*. Les principals fermentacions industrials són la làctica i l'alcohòlica. Les fases inicials de totes dues fermentacions, alcohòliques i homolàctiques, es produeixen segons el cicle d'Embden Meyerhoff - Parnas. En les heterolàctiques se segueix el de l'hexosamonofosfat. En la majoria de fermentacions intervenen barreges complexes de microorganismes o poblacions microbianes que actuen successivament i provoquen canvis en el pH, el potencial redox o la disponibilitat de substrats (Fellows, 1994).

1.4.1. Fermentacions làctiques

La fermentació làctica és una unitat de procés molt antiga associada a la capacitat fermentativa dels bacteris làctics. Les soques bacterianes que intervenen en la fermentació estan determinades principalment per la seva tolerància al pH. Així, per exemple, en la llet, quan la concentració d'àcid làctic aconsegueix el 0,7-1,0%, s'inhibeix el creixement de *Streptococcus liquefaciens*, *Streptococcus lactis* i *Streptococcus cremoris* i apareixen llavors altres espècies que suporten millor el pH com el *Lactobacillus casei*. De manera semblant, en la fermentació de productes vegetals, els *Lactobacillus* spp. tenen més poder acidificant que els *Streptococcus* spp.

En alguns tipus de fermentacions, especialment en les de productes poc àcids (llet i carn), a fi d'aconseguir una elevada concentració en el substrat de microorganismes i reduir així el temps de fermentació i inhibir el creixement de gèrmens patògens i bacteris causants d'alteracions, s'afegeix una determinada quantitat de cultiu iniciador o *starter*. En un altre tipus de fermentacions, la flora natural del producte és ja suficient per a provocar un ràpid descens del pH que eviti el creixement de microorganismes no desitjats.

Els embotits fermentats crus i curats

La indústria càrnia dedicada a l'elaboració d'embotits fermentats crus i curats constitueix un dels principals focus econòmics del sector agroalimentari a Espanya. De l'ampli ventall de productes carnis en forma d'embotit, la família dels crus i curats és la que presenta més nombre de variants. És important destacar dins aquest grup la llonganissa, el salami, el fuet, el xoriço i el llom embotit. Es diferencien dels embotits cuits, adobats o frescos pel tractament que reben abans de ser consumits. Són productes elaborats a partir d'una barreja de carns finament picades, una barreja d'espècies, sals del curat (nitrit sòdic/nitrat), sal i sucre. La barreja s'emboteix en budells naturals o artificials, es fermenta i posteriorment es pasteuritza. Seguidament se sotmet a maduració i s'emmagatzema entre 4 °C i 7 °C.

La conservació d'aquests aliments es deu a l'acció microbiana de les barreges de nitritoespècies i, en menor grau, a la sal. També es deu a l'àcid làctic produït durant la fermentació, al tractament tèrmic i a la pasteurització, i també a la reducció en l'activitat de l'aigua produïda per la sal i la deshidratació i a la baixa temperatura de l'emmagatzematge.

Exemples d'aplicació en la indústria

Elaboració d'embotits crus i curats mitjançant el procés tradicional

Els embotits crus i curats són productes elaborats mitjançant el trossejament o picada de carns i greixos amb o sense despulles (generalment, de porc), als quals s'incorporen espècies, additius i condiments autoritzats. Posteriorment, s'emboteixen, es fermenten i se sotmeten a un procés de maduració (assecatge) i opcionalment es fumen. Després del trossejament o picada i pastat de la carn i altres components es deixa reposar la barreja durant 24 hores a 4 °C. En aquest moment la càrrega microbiana inicial és baixa; principalment hi ha microorganismes aerobis psicròfils gramnegatius. Posteriorment s'inicia la

fase de fermentació, que té lloc en assecadors on l'embotit s'asseca a temperatures entre 22 °C i 27 °C amb una humitat relativa del 90%. En aquestes condicions s'inverteix la càrrega microbiològica i s'activen bacteris grampositius com *Lactobacillus* spp. o *Micrococcus* spp. Si el medi és suficientment àcid, es donen reaccions que provoquen la reducció de nitrats durant les primeres vuit o setze hores. En particular, quan el valor del pH és de 5 els *Micrococcus* spp. són els que participen en més mesura d'aquest mecanisme.

Els pigments del color també pateixen alteracions en aquesta fase. Com més inferior a 6 és el pH, menor pigmentació. Un pH molt baix és el responsable de la degradació de la nitrosomioglobina, el pigment que dóna color a la carn curada. La degradació del pigment es pot emprar com a indicador de qualitat i fins i tot de seguretat: quan això passa canvia el color a un to verdós.

L'addició de sucres a la massa càrnia, principalment glucosa, determina la formació d'àcid làctic i el descens del pH. Hi ha altres factors que contribueixen a aquest descens. Un és el calibre de l'embotit, per la seva relació directa amb el contingut d'oxigen. Un altre és el pH inicial de la carn: si és baix, l'acidificació serà excessiva, com també ho serà l'assecament de la peça. Quan el pH aconsegueix el valor del punt isoelèctric hi ha una pèrdua de la capacitat de retenció de l'aigua, la qual cosa porta a la deshidratació de l'embotit. La pèrdua d'aigua en la deshidratació comporta un descens dels nivells d'activitat de l'aigua, concepte que indica la quantitat d'aigua disponible per a interaccionar en diferents reaccions químiques. Aquest nivell oscil·la des de valors inicials propers a 0,96 fins a valors finals de 0,88. Per tant, la pèrdua de pes és d'un 20% a un 40%. En la fase de maduració, la temperatura dels aliments se situa entre els 12 °C i els 14 °C i la humitat relativa és del 85%. En aquesta etapa es produeix bona part de la deshidratació i té lloc la hidròlisi enzimàtica de les proteïnes i els lípids que, al seu torn, dóna lloc a aminoàcids lliures com la prolina, la glicina, la leucina o la valina, responsables de donar sabor a l'aliment. Alguns aminoàcids poden patir alteracions que provoquen l'acumulació d'amines i amoníac, substàncies responsables d'augmentar el pH al final de la maduració. De la lipòlisi s'obtenen àcids grassos lliures i un augment del glicerol. Aquestes substàncies contribueixen, igual que les proteïnes, al sabor i aroma final del producte. En aquesta fase es poden donar reaccions d'oxidació en les quals apareixen substàncies volàtils responsables del gust a ranci de l'aliment. La baixa activitat de l'aigua inhibeix el desenvolupament de microorganismes tant patògens com els responsables de la deterioració microbiològica del producte (Fernández i altres, 2000). La metodologia d'assecament utilitzada comporta que el temps requerit per a fer aquesta etapa en embotits fermentats pugui variar de tres a sis setmanes, depenent del calibre i de les característiques del producte. En el cas dels salaons carnis, el temps requerit pot variar de tres a 24 mesos o més, depenent de les característiques del producte.



Embotits crus curats i sala d'assecament

L'etapa de fermentació ocupa una posició d'alta rellevància, ja que en aquesta fase té lloc la disminució del pH, el desenvolupament de les característiques sensorials del producte i la reducció de la càrrega microbiològica.

Elaboració d'embotits crus i curats hipocalòrics i hiposòdics

Els embotits hipocalòrics i hiposòdics estan pensats per a ser inclosos en dietes amb un baix contingut en greix i sal. El greix eliminat se supleix amb carn magra i sovint amb aigua i productes de lligam. Com més presència de carn hi hagi, més gran serà la quantitat de sal present en l'aliment. La disminució de la sal en els productes carnis es pot aconseguir duent a terme una selecció de la matèria primera, modificant els processos tecnològics i afegint substàncies que compensin la reducció salina o mitjançant els substituïts de la sal. Així, algunes de les estratègies concretes d'investigació més recent consisteixen a seleccionar carns amb baix potencial proteolític, a reduir l'addició de sal i la seva dispersió o a accelerar-ne la distribució per la peça, o en l'addició de fosfats o proteïnes d'origen animal o vegetal per a aconseguir millorar així l'aspecte i la fermesa del producte.

No obstant això, és important tenir en consideració que la reducció de sal implica un declivi de la concentració de sodi, la qual cosa, al seu torn, comporta un descens de la

capacitat de retenció de l'aigua, de l'emulsió de greix i un augment de l'activitat proteolítica. A més, es pot afectar l'aspecte, l'olor i el sabor dels productes carnis. En els productes baixos en sal, l'índex d'activitat de l'aigua es manté en valors elevats, un aspecte que podria ocasionar l'aparició de riscos microbiològics. En condicions òptimes es pot aconseguir la disminució correcta del pH afegint acidulants i baixant-lo ràpidament a valors segurs. D'aquesta manera s'han aconseguit productes amb només un 1,8% de sal en la composició, i són totalment segurs.

La tecnologia d'asseccament *Quick-Dry-Slice process*

La tecnologia d'asseccament *Quick-Dry-Slice process* es basa en un sistema per a productes en rodanxes, en el qual els productes embotits crus curats se sotmeten a una etapa de fermentació fins a aconseguir el pH desitjat, després es congelen, es tallen en rodanxes i se sotmeten a un procés que consta d'una etapa d'asseccament tradicional i una altra d'asseccament per buit que permet aconseguir el contingut d'aigua i la textura desitjats en pocs minuts (menys d'una hora). Per a la comercialització en rodanxes, la tecnologia *QDS process* presenta nombrosos avantatges pel que fa a la tecnologia tradicional d'asseccament de productes carnis crus i curats (Comaposada i altres, 2008). Cal diferenciar els avantatges d'índole tecnològica dels d'operativitat i mètode d'elaboració. Entre els avantatges tecnològics cal ressaltar que el sistema permet obtenir productes amb olor menys àcida i més homogènia, i la possibilitat d'elaborar productes de pH elevat. De la mateixa manera, s'obtenen productes sense fongs i amb un control més exhaustiu de la seguretat del producte, atès que permet controlar de manera precisa tant el producte com el procés. A més, el sistema permet millorar els rendiments i disminuir els residus. Quant al procés, aquesta metodologia ofereix una gran flexibilitat de producció, és més ràpida, permet el funcionament just a temps i requereix menys espai que els sistemes tradicionals (Comaposada i altres, 2008).

Productes làctics

Encara que avui dia hi ha una gran varietat de productes làctics fermentats (iogurt, formatge, quefir, cumis, sèrum de mantega, nata àcida), la fermentació de la llet es fa des de l'antiguitat. Ja en els textos bíblics hi ha referències sobre aquests productes fermentats que al principi es produïen de manera espontània i que aviat es van començar a elaborar de manera més sistemàtica, ja que a més de ser una manera de conservar durant més temps la llet, els atribuïen certes propietats benèfiques. Consumits especialment als països orientals (Àsia i Europa central), els productes làctics no es van estendre a Occident fins a començaments del segle XX. Des de llavors i fins als nostres dies, els hàbits de consum dels espanyols han canviat considerablement, però el consum de iogurts és, sens dubte, el canvi més espectacular.

Les llets fermentades són aquells productes làctics fermentats mitjançant l'acció de microorganismes pels quals s'obté com a resultat la reducció del pH amb o sense coagulació de proteïnes al seu punt isoelèctric. També es pot definir com a *producte làctic* un preparat amb llet sotmesa a un procés de pasteurització, esterilització o ebullició i al qual s'inoculen bacteris làctics que pertanyen a una espècie o diverses. Els bacteris làctics es caracteritzen perquè durant la fermentació transformen alguns sucres, principalment la lactosa, en àcids orgànics (làctic i acètic).

Segons el tipus de fermentació, les llets fermentades es poden classificar en els tipus següents:

- Fermentació làctica pura, quan s'utilitzen cultius iniciadors mesòfils (*Lactococcus lactis cremoris* o *Lactococcus lactis lactis*, *Leuconostoc cremoris* o *lactis*, que originen llet acidificada, sèrum de mantega fermentat, nata acidifica-

da, *ymer*, *langfil* i *viili*) o iniciadors termòfils (*Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* o *Bifidobacterium bifidum*).

- Fermentació làctica i alcohòlica quan s'utilitzen cultius de *Leuconostoc* spp., *Lactococci* spp., *Lactobacillus* spp. i *Saccharomyces* spp. o *Candida kluyveromyces* per a produir quefir i cumis, respectivament.

Però en la fermentació de productes làctics també s'ha de considerar el contingut de greix, l'origen de la llet i la seva qualitat. El resultat de combinar aquests diferents paràmetres i processos és l'obtenció d'una gran varietat de llets fermentades, de les quals és important destacar el iogurt, el quefir i begudes làctiques probiòtiques. Les diferències de sabor entre aquestes es deuen a la velocitat de producció i a la concentració d'àcid làctic, aldehids volàtils, cetones, àcids orgànics i diacetil. Aquest últim compost, que procedeix de la fermentació del citrat de la llet, és el responsable de la característica aroma a mantega dels productes làctics. Les modificacions de textura es deuen a la producció de l'àcid làctic a partir de la lactosa, que dona lloc a una disminució de la càrrega elèctrica de les micelles de caseïna, que coagulen en aconseguir el punt isoelèctric, i per això es formen uns flòculs característics. Les manipulacions en l'*starter* i en les condicions d'incubació i fermentació són les que determinen la grandària i la textura dels flòculs, que determinen al seu torn les diferències en textura dels diferents productes. La conservació s'obté mitjançant refrigeració per acidificació (iogurt) o per descens de l'activació d'aigua (formatge).

Exemples d'aplicació en la indústria alimentària

El iogurt

El iogurt és el producte de la llet coagulada obtinguda mitjançant fermentació làctica amb l'acció dels microorganismes *Lactobacillus bulgaricus* (responsable de l'acidificació) i *Streptococcus thermophilus* (responsable dels sabors i aromes característiques), els quals han de ser viables i estar en les quantitats de vora 10^7 unitats formadores de colònia (UFC). En el cas de llets fermentades amb bifidobacteris o amb diferents espècies de *Lactobacillus* spp. (*L. casei*, *L. acidophilus*, *L. variant*), als ferments làctics habituals s'han afegit *Bifidobacterium* spp. o *Lactobacillus* spp., la qual cosa ha resultat en unes característiques semblants a les del iogurt, però amb una textura i sabor diferent. L'elaboració s'inicia amb un tractament previ de la llet en el qual es controlen paràmetres com l'acidesa, el greix, les proteïnes o la quantitat de microorganismes presents. Quan la llet està preparada s'estandarditza, és a dir, es regula la quantitat de proteïnes, de lactosa i de matèria grassa (Mahaut i altres, 1993). Segons el iogurt que es vulgui, s'afegeix més greix o menys en aquesta fase. El descremat conté un 0,2% de matèria grassa, mentre que el de tipus grec conté un 10%. Seguidament es filtra la solució i es passa per un procés de desaireig en el qual s'elimina oxigen i s'afegeixen estabilitzants per a evitar la fermentació dels microorganismes. Posteriorment s'homogeneïtza per a poder estabilitzar els glòbuls de greix i se sotmet a un procés de pasteurització alta, és a dir, rep un tractament més sever (a 80 °C durant cinc minuts). L'objectiu és inactivar enzims, desnaturalitzar proteïnes i destruir els microorganismes existents perquè solament creixin els que s'afegeixen posteriorment. Un cop passada aquesta fase, es deixa refredar el producte i s'afegeix el cultiu. Els dos tipus de microorganismes s'afegeixen alhora i actuen de simbiosi, és a dir, en créixer junts n'augmenten la capacitat. Perquè el cultiu iniciador es desenvolupi, la llet ha de tenir un recompte bacterià baix, no posseir antibiòtics ni desinfectants, no estar contaminada per bacteriòfags i no ser llet mastítica.

L'objectiu és dur a terme la fermentació làctica i obtenir àcid làctic. El resultat és un descens del pH fins a nivells de 4 a 4,5 i la formació de substàncies com l'acetat, que donarà lloc a l'aparició de compostos com ara l'acetona o el diacetil, responsables del sabor típic del iogurt i de la coagulació de la llet. En els iogurts sòlids s'envasa el producte i la fermentació es duu a terme a l'interior (a 42 °C i pH 5). Dura entre tres i sis hores, depenent del pH que es vulgui aconseguir. Una vegada fermentat, es manté en refrigeració

(4 °C) per a aturar la fermentació i ja està llest per al consum. En els iogurts líquids, la fermentació es duu a terme en tancs industrials a 42 °C i s'envasa posteriorment a 4 °C amb la mateixa fi.

Les postres làctiques

Durant l'última dècada, les postres làctiques han despertat un gran interès per al consumidor i han experimentat una enorme evolució. Els avenços tecnològics en els ingredients i sistemes de fabricació han donat una nova dimensió a les clàssiques postres casolanes. En la seva elaboració es parteix de llet UHT (*ultra-high-temperature*) i s'afegeixen els diferents ingredients o additius segons el producte que es vulgui fabricar. Aquests solen ser sucre, colorants, aromes, greixos o gelificants com ara midons modificats, gelatina, agar-agar, pectines o ous per a flams i natilles. Una vegada obtinguda la barreja d'ingredients que volem s'escalfa fins a aconseguir una distribució homogènia i una penetració dels gelificants o espessidors. Posteriorment s'esterilitzen a 140 °C durant vuit segons per a eliminar patògens i es refreden fins als 70 °C o 75 °C per a l'envasament. S'envasen en terrines i es mantenen en refrigeració (4 °C) fins al consum. No s'ha d'oblidar que aquestes postres no han passat per una etapa de fermentació i que no tenen microorganismes viables, per la qual cosa el producte final obtingut varia molt del iogurt tradicional. Les postres làctiques es podran conservar en fred durant un període de tres setmanes.

Les postres làctiques s'elaboren seguint un procés similar al del iogurt, amb l'excepció que sofreixen un tractament tèrmic que inactiva la flora làctica responsable de la fermentació.

Fermentacions etanòliques

La fermentació alcohòlica és un procés bioquímic anaeròbic resultant de la transformació dels hidrats de carboni en etanol, CO₂ i energia mitjançant l'acció de microorganismes.

Exemples d'aplicació en la indústria alimentària

La producció de la cervesa

La cervesa és la beguda que s'obté de la fermentació alcohòlica –mitjançant llevats seleccionats– d'un most de malt d'ordi, sol o barrejat amb altres cereals, al qual s'afegeix llúpul o els seus derivats i aigua, i se sotmet a un procés de cocció. Algunes indústries utilitzen antioxidants (sulfits, àcid cítric i ascòrbic) i estabilitzants de l'escuma (alginats). Es consideren cerveses sense alcohol aquelles amb una graduació alcohòlica inferior a l'1% del volum. Les tradicionals tenen entre quatre i cinc graus d'alcohol. Per a elaborar la cervesa sense alcohol, es parteix de la cervesa tradicional i se li elimina l'alcohol una vegada format mitjançant processos de destil·lació i ultrafiltració o bé mitjançant processos específics que redueixen la formació d'alcohol en la fermentació, per als quals s'utilitzen uns llevats especials o es disminueix el contingut en most original.

La producció del vi

La producció de vi és un altre procés d'especial interès. Cal esmentar que el terme *vi* s'aplica al líquid resultant de la fermentació alcohòlica, total o parcial, del suc de fruites i sense l'addició de cap substància. Es poden trobar, a més del vi de raïm, vins de mango i plàtan, entre altres vins de fruites. Des del punt de vista biotecnològic, el vi és el producte de complexes interaccions entre llevats i bacteris que comença des que el fruit està a la plantació, continua al llarg de tot el procés de fermentació i arriba fins al moment en què el producte s'embotella. El procés d'elaboració del vi de raïm depèn dels microorganismes fermentants, de les condicions ambientals, de l'estat de la fruita, del procés de fermentació, del pH del most, de la quantitat de diòxid de sofre i dels aminoàcids presents en el most (Fleet, 2003).

Tradicionalment la producció de vins s'ha fet a partir de fermentacions espontànies dels mostos dutes a terme per soques de llevats endèmics residents en les superfícies dels raïms i dels equips dels cellers. Aquestes fermentacions espontànies de mostos són un complex procés que involucra l'acció de diferents gèneres i espècies de llevats i fins i tot bacteris, que poden variar entre un any i un altre i donar així origen a la diferència en les velocitats de fermentació i a les característiques del vi d'un any a un altre (Querol i altres, 1994). El tipus de llevats, o fins i tot de bacteris presents en la fermentació del most, depèn principalment de la regió d'on és originària la fruita i del procediment de producció, del tipus de beguda que es vol produir, de la concentració inicial de la microbiota, de la temperatura de fermentació i del pH del medi, i també de la concentració de S₂ i etanol (Granchi i altres, 2002). L'ús d'inòculs amb poblacions mixtes i inòculs seqüencials o tots

dos constitueix una eina important per a estandarditzar el producte i preservar aquelles característiques desitjables. Seleccionar soques d'una determinada regió sembla la solució per a assegurar un producte estandarditzat que conservi les característiques organolèptiques que distingeixen la zona de producció. A més del *Saccharomyces cerevisiae* s'han trobat molts altres llevats presents en la fermentació del vi com, entre d'altres, les *Hanseniaspora guilliermondii*, *Kloeckera apiculata*, *Pichia anomala*, *Candida stellata*, *Torulaspota delbrueckii*, *Candida valida*, *Bretanomyces bruxellensis*, *Rhodotorula aurantiaca*. Tots aquests llevats milloren el bouquet del vi, però no són capaços d'acabar la fermentació a causa de la poca tolerància a les altes concentracions d'etanol (Clemente-Jiménez i altres, 2005). Per aquesta raó, diversos autors ja han estudiat fermentacions usant barreges de llevats, ja siguin inoculats simultàniament o de manera seqüencial. Els mecanismes d'interacció d'aquests ecosistemes de la fermentació inclouen la producció d'enzims lítics i efectes de tipus *killer*.

Igual que en la cervesa, actualment hi ha tècniques per la desalcoholització del vi. Algunes tècniques permeten eliminar una part de l'etanol del vi; algunes són factibles, com l'osmosi inversa o l'evaporació amb columnes de cons rotants; algunes com la preevaporació han estat estudiades i després abandonades, i finalment altres estan essent estudiades actualment, com la destil·lació al buit. L'objectiu de la posada a punt dels procediments en el domini de la desalcoholització és el d'aconseguir eliminar prou molècules d'etanol i conservar alhora les qualitats originals dels vins tractats i sense que els costos de producció perjudiquin la competitivitat internacional. En termes generals, es considera que els vins són més aviat negativament sensibles als tractaments tèrmics i la reducció de la concentració d'etanol pot anar acompanyada del risc d'eliminació de compostos volàtils que podrien tenir un paper important en l'aroma dels vins i també en les qualitats organolèptiques generals. Una de les solucions que sembla més eficaç en referència a la unió de tecnologies és l'osmosi inversa. En el cas del vi, la fase dissolvent és la solució hidroalcohòlica. Amb les membranes més corrents la selectivitat aigua/etanol és inferior a 1 i tendeix cap a 0,7, de manera que l'osmosi inversa concentra gairebé la totalitat de l'extracte sec i parcialment l'etanol. En conseqüència, per a obtenir una reducció de la quantitat d'etanol cal afegir un volum d'aigua equivalent al que s'ha eliminat durant l'osmosi inversa. Per a evitar aquesta aportació exògena, a causa de la normativa d'alguns països vitícoles, es proposa fraccionar el permeat d'osmosi inversa per destil·lació amb la finalitat de reincorporar la fase aquosa recuperada. De fet, s'ha estudiat la unió de dos osmosors equipats amb membranes que puguin seleccionar aigua/etanol.

2. Tecnologies avançades de processament a temperatura ambient

Un bon nombre de noves tecnologies de processament a temperatura ambient es presenten avui com a alternatives prometedores per a incrementar la innocuïtat alimentària, estendre la vida útil i alhora obtenir productes de qualitat difícil d'aconseguir amb tractaments tèrmics convencionals (Herrero i altres, 2006). Normalment aquests productes condicionats per al seu consum directe, que es conserven refrigerats i envasats en atmosfera modificada, necessiten evitar els tractaments tèrmics per a mantenir l'aspecte original, i també les propietats nutritives i organolèptiques desitjables. Per aquesta raó, la indústria alimentària ha impulsat el desenvolupament i la innovació de processaments no tèrmics com l'alta pressió hidrostàtica, els camps magnètics oscil·lants, els camps d'alta intensitat de polsos elèctrics, els polsos lumínics intensos, la irradiació i els additius químics i bioquímics amb l'objectiu d'aconseguir la inactivació dels microorganismes sense causar canvis significatius en el sabor i les característiques nutricionals.

La implementació comercial d'aquestes noves tecnologies respon a la demanda de consumidors que prefereixen aliments frescos o mínimament processats, en contrast amb els aliments produïts per tractaments convencionals com la pasteurització i l'esterilització tèrmica o uperització.



Exemples de productes frescos, segurs i mínimament processats

Els tractaments no tèrmics mantenen intactes les característiques nutritives i organolèptiques dels aliments.

2.1. Alta pressió

El potencial de l'alta pressió per a conservar aliments es coneix des del final del segle XIX. Durant molt temps, els problemes tecnològics derivats de la manipulació a pressions tan altes van representar un fre per al desenvolupament d'aquesta tècnica, però gràcies als avenços en la utilització de tècniques d'alta pressió en la indústria ceràmica i metal·lúrgica durant els anys setanta i vuitanta es va obrir la possibilitat de tractar aliments per aquest mètode a escala industrial.

S'entén per alta pressió la tecnologia amb la qual es tracten els materials a pressions entre 100 i 1.000 MPa. Actualment, hi ha dos procediments: la pressió dinàmica, encara no utilitzada a escala industrial, i la pressió estàtica, que és la que avui té aplicació pràctica (López i altres, 2005). En l'alta pressió dinàmica l'increment de pressió s'origina en un temps molt curt (mil·lèsimes de segon) com a conseqüència d'una explosió que genera una ona de xoc (> 100 MPa), denominada *ona de xoc hidrodinàmica*. Aquesta tecnologia aconsegueix la inactivació de microorganismes i l'estovament de certs teixits, com la carn, per ruptura de l'estructura cel·lular (Knorr, 2000). En canvi, l'aplicació de l'alta pressió estàtica es basa a sotmetre un producte a elevats nivells de pressió hidrostàtica (100-1.000 MPa) de manera contínua durant un cert temps (Knorr, 2000).

2.1.1. Alta pressió hidrostàtica

L'alta pressió hidrostàtica es regeix, fonamentalment, per dos principis:

- Le Chatelier enuncia que qualsevol fenomen acompanyat de disminució de volum sofreix un increment en augmentar la pressió, i a l'inrevés.
- La llei de Pascal, segons la qual una pressió externa aplicada a un fluid confinat es transmet de manera uniforme i instantània en totes les direccions.

D'acord amb aquest últim principi, aquesta tecnologia pot aplicar-se directament a aliments líquids o a qualsevol producte envasat submergit en un fluid de pressurització (de baixa compressibilitat). La pressió aplicada al sistema permetria un tractament isostàtic i uniforme independentment de la grandària, forma i volum del material processat. L'efecte de les altes pressions hidrostàtiques es pot resumir en els punts següents: disminució de la síntesi d'ADN, augment de la permeabilitat de les membranes cel·lulars i desnaturalització de biopolímers i proteïnes, inclosa la inactivació d'enzims per canvis

en l'estructura intramolecular (>300 MPa). Aquests fets poden afectar, més o menys, a la viabilitat dels microorganismes i a altres agents alterants i també modificar els components dels aliments i canviar-ne les característiques organolèptiques (Knorr, 2000; Smelt, 1998). Quant als efectes en els components i característiques dels aliments, en les condicions habituals de processament, no s'afecten enllaços covalents i pot dir-se que no s'alteren les aromes ni el valor nutritiu dels aliments. No obstant això, sí que es poden produir canvis de color i d'aparença, i també modificacions en els atributs de textura, encara que els efectes varien d'uns aliments a uns altres. La taula següent mostra les condicions generals de pressió en les quals es produeixen aquests efectes tot i que, en la pràctica, són molt variables segons l'aliment tractat i cada cas requereix un estudi complet.

Efectes principals del tractament d'alta pressió en els aliments

Pressió	Efectes
200 MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Influència sobre la cinètica enzimàtica • Modificació de les propietats físiques de les proteïnes • Alteració de la membrana dels microorganismes
300 MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Inactivació enzimàtica irreversible • Mort dels microorganismes
> 400 MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Gelificació dels midons • Desnaturalització de les proteïnes
> 500 MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Mort de les espores bacterianes • Inactivació dels enzims

Encara que inicialment l'aplicació d'altres pressions hidrostàtiques es va dur a terme fonamentalment amb finalitats de conservació, diverses investigacions han posat en evidència el seu enorme potencial de transformació en l'elaboració de diversos productes.

Usos de les altes pressions hidrostàtiques en la indústria alimentària

L'aplicació de les altes pressions hidrostàtiques permet obtenir diferents tipus de gels de peix, carn, ou i llet. Així mateix, aquesta tecnologia accelera la difusió de soluts en diversos aliments, la solubilització de gasos i els processos d'extracció. La possibilitat d'utilitzar altes pressions per a mantenir aliments a temperatures inferiors a 0 °C en estat líquid (a 207,5 MPa, l'aigua roman líquida a temperatures de -22 °C) o per a induir una congelació i descongelació ultraràpida constitueix un nou i prometedor camp d'estudi i aplicació en la indústria alimentària (Cheftel, 2002).



Equip d'alta pressió estàtica

L'alta pressió estàtica es basa a sotmetre un producte a elevats nivells de pressió hidrostàtica de manera contínua durant un cert temps. Aquest tractament es pot aplicar directament a aliments líquids o a qualsevol producte envasat submergit en un fluid de pressurització. Actualment es fa servir per a obtenir diferents tipus de gels de peix, carn, ou i llet, per a la difusió de soluts en diversos aliments, per a la solubilització de gasos i per als processos d'extracció, entre d'altres.

2.2. Ultrasons

Els ultrasons es poden definir com ones acústiques inaudibles d'una freqüència superior a 20 kHz. Tradicionalment s'han utilitzat els ultrasons per a la conservació dels aliments. L'efecte conservador dels ultrasons està associat als fenòmens complexos de cavitació gasosa, que expliquen la generació i evolució de microbombolles en un medi líquid. La cavitació es produeix en aquelles regions d'un líquid que estan sotmeses a pressions d'alta amplitud que alternen ràpidament. Durant la meitat negativa del cicle de pressió, el líquid està sotmès a un esforç tensional i durant la meitat positiva del cicle experimenta una compressió. El resultat és la formació interrompuda de microbombolles la grandària de les quals augmenta milers de vegades (s'expandeixen) en l'alternança dels cicles de pressió. Les microbombolles que aconsegueixen una grandària crítica imploten o col·lapsen violentament per a tornar a la mida original. La implosió implica l'alliberament de tota l'energia acumulada i ocasiona increments de temperatura instantanis i focals que es dissipen sense que representin una elevació substancial de la temperatura del líquid tractat. No obstant això, l'energia alliberada, i també el xoc mecànic associat al fenomen d'implosió, afecta l'estructura de les cèl·lules situades en el microentorn. L'efecte dels ultrasons sobre els agents alterants dels aliments és limitat i depèn de múltiples factors, per la qual cosa l'aplicació s'ha encaminat a la combinació, simultània o alterna, amb altres tècniques de conservació. L'aplicació d'ultrasons i tractaments tèrmics suaus (< 100 °C, habitualment entre 50 °C i 60 °C) ha donat lloc al procediment denominat *termoultrasonicació*. La combinació amb increments de pressió (> 600 MPa) es denomina *manosonicació*, mentre que les tres estratègies de manera conjunta es coneixen com a *manotermosonicació* (McClements, 1995; Knorr i altres, 2000). Aquestes combinacions han resultat ser molt útils en la inactivació de microorganismes i enzims especialment resistent a la calor.

Usos de la manosonicació i de la manotermosonicació en la indústria alimentària

La manosonicació i la manotermosonicació són particularment eficaces en l'esterilització de melmelades, ou líquid i en general per a perllongar la vida útil dels aliments líquids (Vercet i altres, 2001). La ultrasonicació de manera aïllada és eficaç en la descontaminació de verdures crues i d'ous sencers submergits en mitjans líquids. Encara que tradicionalment s'han utilitzat els ultrasons per a la conservació dels aliments, és important destacar-ne l'èxit en l'estovament de les carns i, més conegut i estès, el seu èxit en sistemes d'emulsió i homogeneïtzació i també en la neteja de diferents equips (McClements, 1995; Knorr i altres, 2000). A més, ones ultrasòniques de baixa energia (de 100 kHz a 1 MHz) s'utilitzen per a avaluar les característiques i la qualitat de diversos productes. En

aquest camp es troba el disseny de diferents equips per a determinar el temps òptim de curació de formatges i per a estandarditzar les característiques del producte comercialitzat, i també sistemes per a avaluar el contingut gras, *in vivo* o *post mortem*, d'estructures musculars i la composició i textura de productes concrets com per exemple la sobrassada (Llull i altres, 2002; Mulet i altres, 2003).

Els ultrasons s'han utilitzat tradicionalment per a la conservació dels aliments, però és important destacar el seu èxit en l'estovament de les carns i, més conegut i estès, el seu èxit en sistemes d'emulsió i homogeneïtzació i també en la neteja de diferents equips. Encara que el tractament amb ultrasons resulta un mètode eficaç en la tecnologia dels aliments és difícil que constitueixin per si mateixos una tecnologia de conservació a causa de l'escàs efecte de les ones sobre els microorganismes i enzims. No obstant això, i segons els resultats obtinguts fins al moment, sembla que, quan es combinen els ultrasons amb temperatura i pressió o tots dos, poden arribar a ser una tecnologia alternativa als tractaments tèrmics convencionals. S'utilitzen també per a l'estovament de les carns i per a emulsionar i homogeneïtzar.

2.3. Irradiació ionitzant

La irradiació ionitzant és una unitat de procés basada en la radiació ionitzant amb efecte transformador i conservador d'aliments. En el sistema internacional, la dosi absorbida es mesura en grays (Gy), que és l'equivalent a l'absorció d'un joule per quilogram de massa tractada. Els tipus de fonts de radiació ionitzant apropiats per a la irradiació d'aliments són els següents:

- Radiació gamma procedent dels radionúclids cobalt-60 i cesi-137.
- Rajos X generats per aparells que funcionin amb una energia nominal igual o menor a 5 MeV.
- Electrons accelerats generats per aparells que funcionin amb una energia nominal igual o menor a 10 MeV (Reial decret 348/2001).

Aquest tipus de tractaments poden produir un efecte primari, derivat de la ruptura i la pèrdua d'estabilitat dels àtoms i molècules o tots dos, que condueix a la formació d'ions i radicals lliures, i un efecte secundari derivat de la combinació i dimerització dels ions i radicals lliures, formats per a donar lloc a noves molècules o compostos. L'efecte conjunt (primari i secundari) es denomina *radiòlisi* i els nous compostos resultants, *productes radiolítics*. En diverses investigacions s'ha posat en evidència que, quan la dosi absorbida és igual a 10 kGy, la formació de compostos radiolítics no representa risc per a la salut. La radiòlisi produeix alteracions del DNA i la formació de radicals a partir de les molècules d'aigua amb elevat potencial reductor i oxidant. Aquests dos fets són fonamentals per a explicar l'efecte conservador d'aquest tractament i l'afectació sensorial de l'aliment.

Efectes principals del tractament d'irradiació en els aliments segons l'Organització Mundial de la Salut

Dosi mitjana absorbida	Efectes
Dosi baixa (fins a 1 kGy)	<ul style="list-style-type: none"> • Retarda els processos biològics (maduració i senescència) de fruites fresques i hortalisses. • Elimina insectes i paràsits en diversos aliments.
Dosi mitjana (fins a 10 kGy)	<ul style="list-style-type: none"> • Redueix microorganismes patògens i alterants de diferents aliments. • Millora les propietats tecnològiques dels aliments.
Dosi alta (superior a 10 kGy)	<ul style="list-style-type: none"> • Esterilització comercial (generalment en combinació amb tractaments tèrmics suaus) de diversos aliments.

La irradiació ionitzant no és aplicable a tots els productes i pot registrar pèrdues de vitamines, en particular de la vitamina A i en menor mesura de les vitamines B i E. A més, no destrueix algunes toxines d'origen bacteriològic i no desactiva enzims. Els canvis químics, generalment associats amb la presència de radicals lliures, poden donar lloc a alternacions organolèptiques inacceptables en certs aliments sensibles o en aliments sotmesos a dosis altes.



Aliments irradiats en una cadena de processament i logotip de la irradiació

A tot el món, més de 41 països han aprovat l'ús de la irradiació per a més de seixanta productes alimentaris. No obstant això, la falta d'informació sobre aquesta tecnologia i els seus beneficis ha provocat confusions i malentesos, que han limitat l'adopció d'aquest procediment en la majoria de països europeus.



Els sistemes d'irradiació s'han consolidat als Estats Units però no a Europa.

Des de fa anys s'ha considerat la irradiació un sistema útil per a la reducció de la contaminació dels aliments per patògens. Malgrat això, el seu ús és encara restringit. Els motius que fins ara n'han limitat l'aplicació als aliments que consumim habitualment són diversos.

2.4. La radiació ultraviolada i els polsos d'elevada intensitat ultraviolada

La radiació ultraviolada (UV-C) és una unitat de procés utilitzada per a assecar els productes (mètode que actualment es continua emprant en països càlids en desenvolupament) i per a danyar el DNA microbià, la qual cosa impedeix la multiplicació i la viabilitat de les seves cèl·lules. De manera general, es pot dir que afecta tant els bacteris com les seves espores, i també els virus, i serveix com a mètode de desinfecció alternatiu als desinfectants químics, que deixen residus en el producte final, amb el consegüent risc per a la salut dels consumidors.

El sistema que més sovint s'aplica actualment és un sistema continu, en què uns emissors de radiació, que estan encesos permanentment, apliquen radiació ultraviolada sobre aigua o sobre un aliment líquid o en pols.

Usos de la radiació ultraviolada en la indústria alimentària

La radiació UV-C amb longituds d'ona de 200-280 nm ha aparegut com a bona alternativa per a la desinfecció de fruites i hortalisses que s'emmagatzemaran (Callejas i altres, 2008) o que s'han de processar amb posterioritat (Callejas i altres, 2008) i constitueix una alternativa emergent i sostenible. Fins ara els aliments es rentaven amb aigua clorada, l'eficàcia de la qual és de vegades limitada. A més, alguns constituents del producte tractat, com els cancerígens trihalometans o les cloramines, poden reaccionar amb el clor i formar compostos derivats potencialment perillosos per a la salut. A més, el NaClO, fins i tot a baixa concentració, pot causar una olor i un sabor estranys en determinats productes mínimament processats en fresc. Per això, les UV-C apareixen com a alternatives de desinfecció d'aquests productes per a preservar la seguretat alimentària dels consumidors (Callejas i altres, 2008).

Un altre ús potencial de la radiació ultraviolada que apareix com una tecnologia alternativa d'interès es dona en el camp de les conserves, per exemple. La majoria de les con-

serveis i semiconserves alimentoses es tracten de manera tèrmica, normalment a temperatures variables que oscil·len entre els 60 °C i els 140 °C durant pocs segons o minuts. Durant aquest temps es transfereix una gran quantitat d'energia a l'aliment, la qual cosa implica modificacions en l'aspecte i en l'aparició d'aromes d'escalfament o bullida. L'ús de la radiació ultraviolada disminueix el risc de modificacions i l'aparició d'aquestes aromes. Un altre grup d'aliments amb possibilitats és el de les farines en general. Normalment és un aliment que no rep tractament tèrmic, ja que en suposaria una modificació i una pèrdua nutricional. L'aplicació d'ultraviolades podria reduir la contaminació de microorganismes en els cereals i en les farines, però permetria especialment la descontaminació de productes que posseeixen patògens com el *Bacillus cereus*.

Podria també tenir interès en la reducció de la contaminació de totes aquelles matèries primeres que s'empenen en la fabricació d'aliments per a nens, especialment per als nadons, on és inacceptable la presència, encara que sigui en petites quantitats, de microorganismes en general i, de manera particular, dels pertanyents al grup de les coliformes.

No obstant això, l'intent d'aconseguir la desinfecció de la superfície de canals i de carn, sobretot per la seva facilitat d'ús, l'escassa toxicitat per als manipuladors i el preu normalment baix, ha demostrat que indueix la generació de components que inicien l'oxidació de l'aliment. Per aquest motiu, s'està emprant un sistema d'emissió de llum d'elevada intensitat, però de manera intermitent, no contínua (Dunn, 1996). En aquest cas el secret està en l'aplicació de polsos d'una durada màxima de 0,1 segons, tot i que normalment els temps mitjans són de cent microsegons, però amb pics d'energia molt elevada. L'escàs temps d'exposició limita la presentació d'aquestes substàncies, la qual cosa permet evitar aquest efecte secundari indesitjable. Després de l'anàlisi dels aliments tractats amb polsos d'elevada intensitat d'ultraviolades, no es detecten modificacions químiques del producte, la qual cosa indubtablement permet que l'aliment sigui estable durant més temps, no manifesti canvis en les seves característiques i mantingui el poder nutritiu (Fine i Gervais, 2004).

La capacitat de la radiació ultraviolada per a la destrucció de microorganismes és molt coneguda. Posseeix la propietat d'afectar, entre altres estructures, el material genètic dels microorganismes, la qual cosa impedeix la multiplicació i la viabilitat de les seves cèl·lules. De manera general, es pot dir que afecta tant els bacteris com les seves espores, i també els virus. Una altra aplicació potencial de la radiació ultraviolada apareix en el camp de les conserves, les farines en general i les matèries primeres emprades en l'alimentació per a infants, i també en la desinfecció de fruites, hortalisses, aigua, aliments líquids i en pols.

3. Elaboració d'aliments mitjançant processos tèrmics

L'aplicació de calor als aliments es remunta als temps en què l'ésser humà va descobrir com fer foc i va observar empíricament els beneficis que comportava aquesta pràctica. De la mateixa manera, l'assecatment per aire calent és, des de fa molts anys, la tècnica triada per a deshidratar aliments.

Actualment, el processament tèrmic amb altes temperatures és un dels tractaments que fan possible l'existència de productes sans de llarga vida comercial, però alhora productes més saborosos i gustosos. L'ús de la calor persegueix destruir microorganismes (bacteris, virus i paràsits) amb la finalitat d'obtenir productes més sans, aconseguir productes que tinguin una vida comercial més llarga i disminuir l'activitat d'altres factors que afecten la qualitat dels aliments com determinats enzims. En general, com més gran és el tractament tèrmic, més gèrmens es destrueixen, ja que, en sotmetre els microorganismes a una temperatura superior a aquella a la qual creixen, s'aconsegueix la coagulació de les proteïnes i la inactivació dels enzims necessaris per al metabolisme normal i això els provoca la mort o lesions subletals. Per tant, les temperatures altes aplicades en els aliments actuen impedit la multiplicació dels microorganismes, causant la mort de les seves formes vegetatives o destruint les espores formades per certs microorganismes com a mecanisme de defensa enfront de les agressions externes. Com més gran sigui la quantitat de microorganismes que hi hagi en l'aliment, més temps es trigarà a reduir el nombre de supervivents a un valor determinat. Per això, el sistema de preparació de cada producte precisa diferents combinacions de temps i temperatura.

No obstant això, la finalitat d'alguns tractaments tèrmics és aconseguir uns aliments més saborosos i gustosos, modificant les característiques fisicoquímiques, provocant una coagulació de les proteïnes, una reestructuració dels midons, una millora en la textura, i també la creació d'aromes que potenciïn l'olor del producte.

Atès que els tractaments tèrmics amb alta temperatura s'associen a efectes negatius com la pèrdua de vitamines i minerals, la formació de components indesitjables a causa de la temperatura o una pèrdua de la frescor global del producte (Ohlsson, 2002), hi ha hagut un important desenvolupament dels processos tecnològics utilitzats per a tractar els aliments per calor durant el segle XX. Entre aquests podem destacar els processos del tipus HTST (*high temperature short time*) com la pasteurització o l'esterilització i altres processos com les microones, la radiació per infrarojos, la cocció al buit, l'escalfament òhmic o les tecnologies per descompressió instantània controlada.

3.1. L'escaldada

L'escaldada és una unitat de procés amb calor suau. El seu objectiu és inactivar els enzims alterants i destruir alguns microorganismes a manera de pas previ d'altres processos de conservació com la congelació. L'escaldada consisteix a sotmetre el producte a un escalfament, generalment per immersió en aigua a 85-100 °C o en vapor d'aigua a 100 °C durant un temps breu, per a reduir el nombre de microorganismes contaminants, principalment floridures, llevats i formes bacterianes vegetatives de la superfície dels aliments i així contribuir, per tant, a aquest efecte conservador d'operacions posteriors.

L'objectiu principal de l'escaldada és inactivar els sistemes enzimàtics responsables de les alteracions de qualitat sensorial (aparició d'olors i sabors estranys) i nutricional (pèrdua de vitamines) que es produeixen durant la conservació. A més, l'escaldada té una sèrie d'avantatges secundaris, ja que destrueix les formes vegetatives dels microorganismes existents en les superfícies dels productes, completa l'acció del rentatge, elimina les restes de plaguicides, millora el color dels vegetals verds i elimina sabors estranys. La durada de l'escaldada varia segons el mètode emprat, la varietat del producte, les seves dimensions, l'estat de maduresa i principalment la temperatura a la qual es du a terme. Les oxidases, peroxidases, catalases i lipoxinases queden destruïdes per la calor durant l'escaldada i la seva eficàcia es verifica controlant l'activitat de la peroxidasa i catalasa en tenir més termoresistència. Per a una òptima qualitat del producte, es recomana escaldar-lo fins als nivells següents d'activitat peroxidàsica inicial: els pèsols un 2-6,3% segons la varietat, les mongetes tendres un 0,7-3,2%, la coliflor un 2,9-8,2% i les cols de Brussel·les un 7,5-11,5%. La mesura d'activitat de la lipoxigenasa ha estat proposada com un indicador adequat de l'escaldada i la relació entre la màxima activitat de la lipoxigenasa residual i l'alta qualitat mínima recomanada és del 10% per al pèsol, del 20% per a la mongeta verda i del 0% per a les cols de Brussel·les.

Ús de l'escaldada en fruites i verdures

S'aplica a fruites i verdures per a, a més de fixar el color, inactivar els enzims alterants i destruir alguns microorganismes a manera de pas previ d'altres processos de conservació com la congelació. Aquesta manipulació no constitueix un mètode de conservació, sinó un tractament aplicat en les manipulacions de preparació de la matèria primera. En el cas particular de les fruites i verdures, l'escalfament durant l'escaldada mata les cèl·lules, solubilitza les substàncies pèptiques i causa canvis irreversibles en l'estructura cel·lular i en les característiques mecàniques dels teixits vegetals. Al mateix temps es produeix la desnaturalització proteica i la pèrdua de substàncies solubles com ara vitamines, sals minerals o sucres. Els cloroplastos i cromoplastos s'inflen i es desintegren, els carotens i les clorofil·les es difonen en la cèl·lula i en el medi d'escaldada, tal com ocorre de manera anàloga amb els grànuls de midó en produir-se la solubilització i gelatinització que acaba ocupant finalment tot o part del citoplasma cel·lular. Els efectes negatius de l'escaldada de fruites i verdures són la modificació permanent de l'estructura vegetal, la solubilització i destrucció de nutrients i vitamines en el medi d'escaldada i les modificacions de color a causa de la transformació de les clorofil·les en feofitines.

3.1.1. Mètodes d'escaldada mixta

La utilització de microones seguida de la immersió en aigua calenta redueix la durada de l'escaldada de productes com les patates i les cols de Brussel·les i així s'obtenen productes en els quals la textura és més homogènia i acceptable, i la retenció de vitamina C, més elevada que amb l'escaldada convencional. D'aquesta manera, pastanagues i mongetes tendres escaldades amb microones mostren una activitat residual menor de peroxidases, una textura millor, i més retenció d'àcid ascòrbic i carotenoides totals que les que estan tractades amb escaldades convencionals. Tractaments coadjuvants a l'escaldada com la disminució del pH mitjançant l'addició a l'aigua d'àcid cítric en una proporció del 0,5% augmenten la sensibilitat a la calor dels sistemes enzimàtics i permeten disminuir la durada de l'escaldada de les carxofes entre un 20 i un 30%, per exemple. No obstant això, aquesta acidificació no es pot aplicar de manera generalitzada, ja que afavoreix la transformació de la clorofil·la en feofitina, la qual cosa exerceix una influència negativa sobre el color dels vegetals verds. Per contra, l'addició de sals com clorurs i sulfats sòdics o potàssics no modifica el pH però redueix àmpliament la transformació de clorofil·la en feofitina en els espinacs i les cols de Brussel·les. Un mètode per a millorar la retenció de l'olor i la textura dels vegetals mitjançant l'escaldada consisteix a fer-la en una solució aquosa amb zinc durant un temps igual o menor de tres minuts i amb una concentració major o igual que 500 ppm. Aquesta addició d'additius a l'aigua d'escaldada amb la finalitat de millorar la qualitat de les hortalisses congelades o de retenir les substàncies solubles ha de ser objecte d'una anàlisi escrupolosa en la qual s'estudiïn les possibles repercussions a favor o en contra de l'aplicació.

L'escaldada és un tractament tèrmic suau al qual se sotmet el producte durant un temps més o menys llarg a una temperatura inferior als 100 °C. S'aplica abans del processament per a destruir l'activitat enzimàtica de fruites i verdures, per a reduir el nombre de microorganismes contaminants, principalment floridures, llevats i formes bacterianes vegetatives de la superfície dels aliments i per a fixar el color o disminuir el volum abans de la congelació. Aquesta manipulació no constitueix un mètode de conservació, sinó un tractament aplicat en les manipulacions de preparació de la matèria primera.

3.2. La pasteurització

La pasteurització és un procés tèrmic relativament suau, amb temperatures menors als 100 °C, que contribueix a conservar l'aliment sobre el qual s'aplica sempre que es mantingui posteriorment refrigerat, com la llet, o que es complementi amb un altre mètode de conservació. Com més gran sigui la temperatura, menor serà el temps d'aplicació i a l'inrevés. Aquest mètode, que conserva els aliments per inactivació dels enzims i per destrucció dels microorga-

nismes patògens i ocasionalment els alterants si no són molt termoresistents, provoca canvis mínims tant en el valor nutritiu com en les característiques organolèptiques de l'aliment.

La intensitat del tractament i el grau de prolongació de la seva vida útil estan determinats principalment pel pH. L'objectiu principal de la pasteurització aplicada als aliments de baixa acidesa (pH superior a 4,5) és la destrucció dels bacteris patògens, mentre que en els aliments de pH inferior a 4,5 es persegueix la destrucció dels microorganismes causants de l'alteració i la inactivació dels enzims. Els temps i les temperatures de tractament varien segons el producte i la tècnica de pasteurització. Hi ha un mètode de temperatura alta i temps curt (pasteurització alta) en el qual la temperatura és de 71,7 °C i el temps de quinze segons, i també un altre de temperatura baixa i temps llarg en el qual la temperatura aconsegueix els 62,8 °C durant trenta minuts (Fellows, 1994).

La pasteurització de la llet

En el cas particular de la llet (sencera, descremada o semidesnatada), la pasteurització assegura la destrucció de gèrmens patògens i la reducció de la flora banal, sense modificar sensiblement la seva naturalesa fisicoquímica ni les característiques biològiques i les qualitats nutritives. El tractament consisteix en la neteja de la llet, l'escalfament posterior en un interval curt de temps (de 72 °C a 78 °C entre quinze i vint segons), la refrigeració immediata a menys de 4 °C, l'envasament i la conservació en una cambra frigorífica a menys de 6 °C. Així, es garanteix la conservació de la llet per al consum durant diversos dies, sempre que es mantingui sota refrigeració.

La pasteurització és un tractament relativament suau (temperatures normalment inferiors als 100 °C) que es fa servir per a perllongar la vida útil dels aliments durant diversos dies, com en el cas de la llet, o fins i tot mesos, com en la fruita embotellada.

3.3. L'esterilització i la uperització

L'esterilització és un procés tèrmic pel qual l'aliment se sotmet a temperatures entre 115 °C i 127 °C. Per a aconseguir-les, s'utilitzen autoclaus o esterilitzadores. El procés s'ha de mantenir un cert temps (en alguns aliments fins a vint minuts) i la temperatura afecta el valor nutricional (es poden perdre algunes vitamines) i organolèptic de certs productes. En fer un tractament esterilitzant cal tenir en compte alguns factors, com el pH de l'aliment i la termoresistència dels microorganismes o els enzims. No obstant això, una vegada obert l'envàs esterilitzat, els aliments s'han de conservar a temperatures de refrigeració (de 0 °C a 5 °C) durant un temps limitat que dependrà del producte. Actualment aquest tipus de tractament amb prou feines s'utilitza i ha estat reemplaçat per l'UHT (*ultra high temperature*) o uperització.

La uperització o esterilització UHT és un procés tèrmic basat a utilitzar altes temperatures (de 135 °C a 150 °C durant entre un i tres segons). Com més va més es fa servir, ja que la seva repercussió sobre el valor nutricional i organolèptic dels aliments és menor que l'esterilització convencional.

Usos de la uperització

La uperització s'utilitza en la llet, suc de fruites i concentrats, nata i molts altres productes als quals allarga la vida útil com a mínim tres mesos, sense que per a això calgui refrigeració; en alguns casos es pot perllongar entre dos a cinc anys en funció del tipus d'aliment i del tractament aplicat. Els productes uperitzats (igual que els esterilitzats) no cal que siguin conservats en fred un cop envasats. No obstant això, una vegada obert l'envàs, els aliments s'han de conservar a temperatures de refrigeració (entre 0 °C i 5 °C) durant un temps limitat que dependrà del producte. En el cas particular de la llet, el procés de la llet UHT o de llarga durada consisteix a sotmetre el producte a temperatures molt elevades (de 140 °C a 150 °C) durant un espai de temps molt breu (d'un a cinc segons) de manera que, a més d'aconseguir la total esterilitat amb molt poques modificacions del producte, es redueix al mínim la possibilitat de transformacions químiques, físiques i organolèptiques posteriors de l'aliment. El temps vàlid per al consum (de diversos mesos) és molt superior que en la pasteuritzada.

La uperització o UHT (temperatura entorn dels 140 °C) és el sistema d'esterilització més modern. S'apliquen aproximadament 140 °C, generalment per mitjà de vapor, durant molt pocs segons. L'aliment queda totalment esterilitzat i la pèrdua nutritiva és inferior que en l'esterilització tradicional. No hi ha canvis de sabor o color.

3.4. Cocció

La cocció és un procés tèrmic pel qual l'aliment se sotmet a temperatura perquè sigui més saborós i gustós, i n'afavoreix també la conservació. La majoria de les fruites i moltes verdures es poden menjar crues, i també en determinats casos la carn, el peix i els ous; no obstant això, la majoria dels productes es couen. Durant la cocció es modifiquen els components físics i bioquímics de l'aliment, ja sigui per estovament, coagulació, inflament o dissolució.

Així, per exemple, amb la cocció de les verdures hi ha una destrucció de la pectina i un estovament de l'estructura. Amb la cocció de carns i peixos, es modifica el color, s'augmenta la suculència, es destrueix el teixit conjuntiu per a augmentar la tendresa i es coagulen les proteïnes. A més, es desenvolupen sabors, sobretot amb sabors àcids i amargs. En el cas dels pans i la brioixeria, la cocció produeix bàsicament un inflament del producte. Amb finalitats conservatives, la cocció destrueix els microorganismes sensibles a les altes temperatures.

El més difícil és aconseguir la cocció de les parts internes dels aliments i aconseguir que el procediment sigui letal per als agents patògens. Això depèn de l'espessor de l'aliment que s'està coent, de la temperatura i de la durada de la cocció. Els mètodes de cocció que s'empren amb més freqüència són la fornada i la fregitel·la en oli.

3.4.1. La fornada

La fornada és una unitat de procés en la qual s'empra aire calent per a modificar les característiques organolèptiques dels aliments a fi de millorar la palatabilitat i d'ampliar la varietat de sabors, aromes i textures de la dieta. La fornada té un objectiu secundari, que és la conservació de l'aliment per destrucció de la càrrega microbiana i per reducció de l'activitat de l'aigua en la superfície a causa de la deshidratació, és a dir, la disminució de la disponibilitat d'aigua, important per al desenvolupament dels microorganismes (Fellows, 1994). No obstant això, la vida útil de bona part dels aliments sotmesos a aquesta operació és curta si no es complementa mitjançant la refrigeració o l'envasament.

En el forn, la calor passa a l'aliment per radiació des de les parets, per convecció de l'aire circulant i per conducció a través de la safata sobre la qual descansa. Si bé en alguns tipus d'aliments, com en alguns pastissos, la calor es transmet en els primers moments de la fornada, en el cas de la convecció, bona part de l'intercanvi calòric es produeix per conducció. La radiació infraroja queda absorbida per l'aliment i es converteix en calor per interacció amb les molècules dels seus components. L'aire i altres gasos, a més del vapor d'aigua, transmeten la calor en el forn per convecció. En la superfície de l'aliment i en les parets del forn la calor es converteix en calor de conducció. L'aliment està recobert per una prima capa d'aire que dificulta la transmissió de la calor cap a l'interior i l'eliminació del vapor d'aigua. Els corrents de convecció dins del forn afavoreixen la distribució uniforme de la calor.

En introduir un aliment en un forn, l'aigua de la superfície s'evapora i l'aire calent l'arrossega. La baixa humitat relativa en el forn crea un gradient de pressió de vapor que impulsa el pas de l'aigua des de l'interior de l'aliment fins a la superfície. La velocitat d'evaporació en un aliment determinat depèn de l'aliment en qüestió i de la velocitat d'escalfament. La superfície d'aquest es desseca i la seva temperatura s'acaba igualant a la de l'aire del forn (110-240 °C) i per això es forma la crosta.

Les aromes desenvolupades durant la fornada constitueixen una característica organolèptica important dels productes cuits. Les aromes que es produeixen són diferents d'acord amb el tipus de sucre, la composició en greixos i aminoàcids de les capes superficials de l'aliment, i també la temperatura i el temps d'escalfament, igual que el contingut en aigua durant el procés mateix.

Exemple d'aplicació en la indústria alimentària

La fornada s'aplica normalment a fruites, aliments farinosos, carns, nous diverses i verdures.

3.4.2. La fregitel·la en oli

La fregitel·la és una unitat de procés destinada a modificar les característiques organolèptiques de l'aliment. Un objectiu secundari de la fregitel·la és l'efecte conservador que s'obté per destrucció tèrmica dels microorganismes i enzims presents en l'aliment i per reducció de l'activitat d'aigua en la seva superfície o en tota la seva massa. La vida útil dels aliments sotmesos a fregitel·la depèn essencialment del contingut en aigua residual.

La vida útil dels aliments que després de la fregitel·la retenen un contingut en aigua relativament elevat (rosquilles, peix, pollastre i derivats empanats o arrebossats) és relativament curta a causa de la migració d'aigua i olis que es produeix durant l'emmagatzematge. Tot i que aquest tipus d'aliments no se sol elaborar a escala industrial per a la distribució a detallistes, és important en les indústries de serveis d'àpats, ja que, si cal, es poden conservar en refrigeració durant alguns dies. Aquells aliments sotmesos a processos de fregitel·la més intensos (patates fregides, aperitius de blat de moro i patata) es conserven fins a dotze mesos a temperatura ambient. Quan un aliment se submergeix en oli calent, la seva temperatura augmenta en la superfície i es comença a deshidratar. Es forma una crosta i el front d'evaporació es va traslladant cap a l'interior del producte. La temperatura de la superfície de l'aliment aconseguix la de l'oli calent i la interna augmenta lentament fins a aconseguir els 100 °C. Les velocitats de transferència de calor a l'aliment depenen de la diferència de temperatures entre aquest i l'oli, i del coeficient de conductivitat tèrmica superficial.

El temps requerit per a fregir un determinat aliment depèn del tipus d'aliment, de la temperatura de l'oli, del sistema de fregitel·la (superficial o per immersió), del gruix de l'aliment i dels canvis que es volen aconseguir. L'efecte de la fregitel·la sobre els aliments inclou l'efecte sobre l'oli i l'efecte de la calor sobre l'aliment sotmès a la fregitel·la. El principal objectiu de la fregitel·la consisteix a aconseguir que l'aliment adquireixi en la capa superficial una textura determinada i un color, una aroma i un bouquet característics. També té influència la quantitat d'oli que l'aliment reté. La textura dels fregits es deu a canvis que es produeixen en les proteïnes, greixos i carbohidrats estructurals, semblants als que tenen lloc durant la fornada.

3.5. Les microones

Les microones són ones energètiques amb freqüències entre 300 MHz i 30.000 MHz que formen part del rang electromagnètic i que, quan són transferides a materials que interaccionen amb aquestes, es manifesten en forma de calor. En exposar un aliment a les microones (freqüències de 2.450 MHz i 915 MHz), es produeix una fricció intermolecular resultant del moviment de les càrregues elèctriques de molècules com l'aigua i les sals minerals (components polars i

ionitzables) per forces d'atracció i repulsió, sota la influència del camp elèctric aplicat. Això implica una generació interna de calor que assegura un escalfament volumètric del producte (Casp i Abril, 1999).

Usos de les microones en la indústria alimentària

A més dels usos ben coneguts en l'àmbit domèstic per a escalfar, cuinar i descongelar, s'han desenvolupat diversos equips industrials que han ampliat enormement el rang d'aplicació de les microones en els aliments. Així, les microones s'han utilitzat durant els últims anys en aplicacions com el procés d'asseccament durant la fabricació de pasta, l'escaldada de vegetals i la pasteurització d'aliments envasats. Potser l'ús industrial més reeixit és la utilització de les microones per a elevar la temperatura de peces congelades de carn, peix, aus, verdures i fruites. Durant aquest procés, peces que estan a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ han de passar a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ o a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ amb l'objectiu de facilitar, així, el trossejament o tall per a l'empaquetatge i comercialització posteriors. Tradicionalment, el procés es duia a terme deixant els productes en càmeres climàtiques durant diversos dies, la qual cosa provocava pèrdues de líquids com ara sang i solucions de proteïnes, i també una disminució important de la qualitat. No obstant això, quan es fan servir les microones per a això, el procés és molt ràpid. Per exemple, en peces de deu a quaranta quilograms s'aconsegueix la temperatura requerida en cinc o deu minuts.

De la mateixa manera, en la indústria làctica, les microones s'utilitzen per al tractament de la mantega congelada, que s'ha de mantenir congelada a molt baixa temperatura fins al trossejament i la comercialització posteriors per a evitar el desenvolupament de la rancificació. Un mètode eficaç per a elevar la temperatura de la mantega i, així, facilitar el trossejament, és el tractament amb microones. Una altra de les aplicacions de les microones que està resultant atractiva per a les indústries és precuinar el bacó. S'ha vist que, quan el bacó s'escalfa en un equip tradicional com la planxa, es produeixen importants pèrdues d'aigua i greix i, com a conseqüència, l'estructura de l'aliment s'encongeix. A més, el greix es fon en la superfície calenta de la planxa i es deteriora considerablement, per la qual cosa disminueix la qualitat. No obstant això, el bacó escalfat amb microones conserva millor la seva composició inicial i, en conseqüència, les dimensions del producte amb prou feines varien. També s'ha comprovat que les microones podrien ser particularment útils per a tractaments de pasteurització a alta temperatura i temps curts i UHT de llet, nata, iogurt, salses, purés i aliments infantils. A causa de l'absència de superfícies calentes en contacte amb l'aliment i a la rapidesa del procés (els $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ s'aconsegueixen en menys d'un segon), s'eviten sobreescalfaments, es preserva la qualitat del producte processat i es redueixen costos.



Equips de microones industrials



Problemes associats a les microones

La falta d'uniformitat en la distribució de la temperatura a l'interior de l'aliment és un dels inconvenients més rellevants de les microones, ja que repercuteix en la qualitat final del producte. A més, hi ha inconvenients, com la limitada aplicació a aliments de gran volum i l'elevat cost (Wäppling-Raaholt i Ohlsson, 2005). Quan no hi ha un control adequat de la uniformitat de l'escalfament poden aparèixer "punts freds" en els quals la inactivació microbiana és incompleta, i també "punts calents", on poden tenir lloc degradacions tèrmiques excessives amb el consegüent detriment en les propietats sensorials i en el valor nutritiu de l'aliment. Per tot això, cal conèixer i controlar els

factors que afecten l'escalfament, tant els relacionats amb els equips (tipus de forn, freqüència, potència) com amb les característiques inherents a l'aliment (composició, propietats físiques, grandària o forma). Una de les opcions per a millorar la uniformitat de l'escalfament en els aliments líquids és fer els tractaments en flux continu (Villamiel i altres, 1996). En general, s'ha vist que aquests tractaments proporcionen escalfaments eficaços per a pasteuritzar, per exemple, llet i suc de taronja, tot conservant i fins i tot millorant les seves propietats nutritives i sensorials en comparació a tractaments convencionals duts a terme en intercanviadors de calor.

Les microones produeixen una fricció intermolecular que resulta del moviment de les càrregues elèctriques de molècules per forces d'atracció i repulsió sota la influència del camp elèctric aplicat. Això implica una generació interna de calor que assegura un escalfament volumètric del producte. Els aliments sobre els quals s'apliquen poden ser de naturalesa sòlida, líquida o particulada i l'escalfament dependrà de les característiques físicoquímiques. Les microones s'han utilitzat durant els últims anys en aplicacions com el procés d'assecamment durant la fabricació de pasta, l'escaldada de vegetals i la pasteurització d'aliments envasats.

4. Tecnologies avançades de processament a alta temperatura

4.1. La cocció al buit

La cocció al buit és un procés tèrmic que s'utilitza en matèries primeres envasades al buit en envasos termoresistents. El tractament tèrmic es fa sota condicions controlades de temps i temperatura (normalment inferior als 100 °C) i després hi ha una fase de refredament ràpid fins a arribar a temperatures de refrigeració. Els avantatges d'aquest tractament són nombrosos. Si es compara amb una pasteurització convencional, augmenta en bon grau la vida útil de l'aliment i les seves característiques sensorials i nutricionals són molt superiors. A més, no es produeixen disminucions en la cocció i, com que l'aliment es cuina envasat, no hi ha possibles recontaminacions. Tot això possibilita que es puguin cuinar en el forn diversos tipus d'aliments alhora, per la qual cosa es redueixen els costos energètics. No obstant això, i a causa de la possible presència de microorganismes termoresistents i de trencaments en la cadena de fred, aquest mètode s'ha de combinar amb altres sistemes de conservació i ha de complir uns estrictes requisits d'higiene en la producció.

4.2. Escalfament òhmico

L'escalfament òhmico és un procés tèrmic basat en el principi físic que transforma l'energia elèctrica en energia tèrmica quan travessa un conductor que li ofereix resistència (efecte Joule). En aquest cas el corrent s'aplica sobre un aliment conductor en el qual la calor generada actua de bactericida (Sastry i Barach, 2001). Tenint en compte que molts aliments són bons conductors, ja que estan compostos d'electròlits i aigua, el resultat és un producte d'elevat grau de seguretat i qualitat microbiològica amb una mínima pèrdua de nutrients. La densitat, la grandària i la forma dels aliments són factors clau en l'efectivitat de l'escalfament òhmico. L'efecte de l'escalfament depèn tant de factors propis del sistema com de l'aliment. S'ha comprovat que la velocitat d'escalfament és directament proporcional a la intensitat del camp elèctric i a la conductivitat elèctrica de l'aliment. Els aliments han de ser conductors però no gaire. Els valors òptims de conductivitat a 20 °C estan en l'interval 0,01-10 siemens/m. A manera d'exemple, un aliment adequat per a ser sotmès a l'escalfament òhmico seria la llet, el valor de conductivitat de la qual és de 0,5 siemens/m. Altres factors que incideixen en l'efectivitat de l'escalfament són la densitat i la calor específica de l'aliment, i també la grandària, la forma i la concentració de les partícules en el cas dels aliments particulats.

Malgrat que els preus dels equips estan baixant, es tracta d'una tecnologia els costos inicials de la qual poden ser elevats. No obstant això, la rendibilitat s'ha d'avaluar a llarg termini, ja que es tracta de processos en què s'obtenen productes amb adequades característiques microbiològiques, organolèptiques i nutricionals, sota condicions d'escàs embrutiment i en un mínim espai, per la qual cosa es poden aplicar a un ampli rang d'aliments. Un altre dels avantatges d'aquest escalfament està relacionat amb els costos d'operació. Són escalfaments en els quals un 95% de l'energia es transforma en calor, mentre que en un escalfament amb microones sol ser un 70% com a màxim. A més, es tracta d'un procés fàcil de controlar per mitjà de la intensitat del voltatge aplicat.

Després dels diferents estudis fets fins al moment, l'escalfament òhmic pot ser considerat, entre totes les tecnologies emergents, com una de les més prometedores en la indústria alimentària. Com a perspectives futures s'han de plantejar més estudis a escala microbiològica i de constituents, sense oblidar el possible escalat domèstic i l'optimització de les instal·lacions industrials per a disminuir els costos inicials i els possibles efectes negatius sobre la composició dels aliments. De manera general, sí que cal dir que la vida útil dels aliments processats mitjançant escalfament òhmic ha de ser comparable amb la d'aliments processats de manera convencional.

Els avantatges de l'escalfament òhmic són els següents:

- Adequades característiques microbiològiques.
- Adequades característiques organolèptiques i nutricionals.
- Baix grau d'embrutiment.
- Mínim espai.
- Baixos costos d'operació atès que el 95% de l'energia es transforma en calor.
- Escalfament instantani.
- Escalfament homogeni.

Usos de l'escalfament òhmic en la indústria alimentària

Hi ha un gran nombre d'aplicacions de l'escalfament òhmic com l'escaldada, la pasteurització, l'esterilització, la descongelació, l'evaporació, la deshidratació, la fermentació o l'extracció, i cal destacar l'aplicació desenvolupada per a l'esterilització en flux continu de fruites, suc de fruites, sopes, salses o ou líquid (Leizeron i Shimoni, 2005). L'ou líquid resulta molt adequat per a aquest tipus de procés, ja que pot ser escalfat òhmicament en temps molt curts i sense problemes de coagulació. A més, l'escalfament és pràcticament instantani i de distribució homogènia.

L'escalfament òhmic es produeix quan un corrent elèctric passa a través d'un aliment i provoca l'elevació de la temperatura a l'interior com a resultat de la resistència que ofereix al pas del corrent elèctric. Els avantatges d'aquest procés es deriven del fet que l'escalfament té lloc a l'interior de l'aliment. D'aquesta manera, i a diferència del que ocorre en un escalfament convencional, no hi ha superfícies calentes de contacte.

4.3. La descompressió instantània controlada (DIC)

La descompressió instantània controlada és un procés termomecànic de tipus HTST (*high temperature and short time*) combinat amb una descompressió instantània (200 mbar) al buit. El tractament tèrmic es du a terme en una cambra mitjançant injecció de vapor. En qüestió de segons s'aconsegueixen la temperatura i la pressió programades, que es mantenen durant un espai curt de temps, normalment inferior a un minut. Després d'aquest període de temps, i de manera gairebé instantània, s'indueix una pèrdua de pressió mitjançant la connexió de la cambra a un dipòsit de buit. D'aquesta manera, es provoca la pèrdua d'aigua per evaporació i de substàncies volàtils i també el refredament del producte. La descompressió instantània, a més de provocar en l'aliment canvis que faciliten una deshidratació posterior, per exemple en carns, peixos i verdures, té un efecte bactericida característic que, juntament amb el que es produeix pel tractament tèrmic, contribueix a allargar la conservació i a garantir la seguretat del producte. Mitjançant el control de cadascuna de les fases, el producte es pot sotmetre a diferents tractaments prenent com a variables del procés la pressió dins del reactor, la pressió de buit, el temps de procés, la velocitat de despressurització de la cambra de tractament i el nombre de cicles.



Instal·lació de descompressió instantània controlada

Usos de la descompressió instantània controlada (DIC)

La tecnologia DIC permet tractar una àmplia varietat de productes agroalimentaris (com ara fruites, verdures o plantes aromàtiques) tant en peces com en pols. En funció de les necessitats dels diferents productes que es tractaran i de les variables del procés, aques-

ta tecnologia es pot emprar per a texturitzar, deshidratar o descontaminar productes alimentosos i per a extreure compostos d'alt valor afegit.

Com a conseqüència de la descompressió instantània, des de la pressió/temperatura de tractament fins al buit (200 mbar), es produeix l'evaporació sobtada d'aigua a l'interior del producte tractat, la qual cosa dóna lloc a modificacions de la microestructura i de la macroestructura (canvis de textura). Així, sota les condicions adequades, el producte tractat pot aconseguir un alveolat uniforme i també grans superfícies d'intercanvi, la qual cosa confereix una millora en l'aptitud tecnològica del producte als processos subsegüents en els quals es produeixi una transferència de matèria o s'indueixi una modificació de les propietats tecnològiques. Aquesta tecnologia ha estat utilitzada principalment per a la texturització de productes vegetals. L'expansió en l'estructura d'aquests productes, posada en evidència per mitjà de l'anàlisi del coeficient d'expansió i de la microscòpia electrònica, facilita la deshidratació i l'extracció de components i també la rehidratació posterior del producte tractat.

Com s'ha especificat, una altra de les funcions principals de la DIC és l'extracció de components a partir de vegetals o altres matèries primeres. El que veritablement permet l'extracció de compostos específics és el fenomen d'autoevaporació que comporta una separació gas/sòlid. En ser un tractament tèrmic de temps reduït, aquesta operació induïx una degradació tèrmica mínima en l'extracte. Si la comparem amb altres procediments tradicionals, la tecnologia DIC és més ràpida i té un rendiment superior i un consum energètic inferior. A més, no es requereixen dissolvents, per la qual cosa es tracta d'una tecnologia respectuosa amb la salut humana i amb el medi ambient. Aquesta operació s'ha aplicat per a l'extracció d'olis essencials de les fulles de romaní i de cítrics.

A més d'emprar la DIC per a potenciar la deshidratació induïda per processos clàssics d'asseccament, la utilització d'aire o gas en comptes de vapor d'aigua per a generar l'increment de pressió dins del reactor permet emprar aquest procés directament com a tecnologia d'asseccament. El procés resultant es denomina *DDS* (deshidratació per descompressions successives) i consisteix, per tant, a sotmetre el producte a diversos cicles de compressió i descompressió amb la finalitat de deshidratar productes termosensibles.



Mango deshidratat mitjançant aire calent, mitjançant DIC i mitjançant liofilització

Finalment, les tecnologies DIC es poden aplicar per a la descontaminació de productes. L'experimentació amb espores de *Bacillus stearothermophilus* i cèl·lules de *Saccharomyces cerevisiae* i *Escherichia coli* ha permès analitzar la influència del tractament DIC en la viabilitat d'aquests microorganismes. Pel que fa al nivell de pressió i al temps de tractament, s'ha pogut confirmar la relació positiva i pràcticament lineal d'aquests amb la taxa de reducció microbiana (Rodríguez i altres, 2007). La descontaminació dels productes tractats mitjançant aquesta tecnologia es deu fonamentalment a dos efectes; el primer, l'efecte tèrmic, està produït pel vapor d'aigua introduït i el segon, l'efecte mecànic en el producte, es deu a la pressió del treball i a la ràpida descompressió al buit posterior.

La descompressió instantània controlada (DIC) està basada en els tractaments HTST (altes temperatures durant un curt espai de temps) però es combina amb una ràpida caiguda de la pressió. La DIC destaca per ser un tractament termomecànic de gran versatilitat que presenta bones expectatives com a tecnologia per al processament d'aliments en totes les seves aplicacions (texturització, assecament, descontaminació i extracció), ja que és un procés que aporta millores cinètiques i energètiques i que a més és respectuós amb el medi ambient. Així mateix, aquesta tecnologia respon a les demandes actuals dels consumidors, és a dir, és un procés que pot permetre l'obtenció de productes de més qualitat, saludables i segurs.

5. Formes galèniques en la indústria alimentària

Actualment el desenvolupament d'aliments que coadjuvin la salut va guanyant interès entre els consumidors. Es tracta d'aliments probiòtics o extractes i olis essencials derivats de les plantes a causa de la propietat de controlar el creixement de microorganismes patògens com ara *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. o *Rhizopus* spp., que han estat reconeguts com a agents causants de malalties produïdes pels aliments i la seva descomposició o totes dues coses (Soliman i Badeea, 2002; Viuda-Martos i altres, 2007).

Els aliments funcionals no solament han de ser ingerits en una quantitat concreta per a assegurar un efecte benèfic sobre la salut del consumidor, sinó que s'han de solucionar factors que afecten la seva viabilitat en travessar el tracte gastrointestinal, en el qual destaca l'elevada acidesa gàstrica i l'acció de les sals biliars (Koo i altres, 2001). A més, molts d'aquests aliments funcionals contenen compostos volàtils, hidrofòbics i molt làbils. Cal protegir els aliments funcionals per a assegurar-ne la funcionalitat. L'encapsulament constitueix un mètode per a assegurar-ne la supervivència i l'alliberament en el tracte gastrointestinal. Però, a més, l'encapsulament preveu reaccions indesitjables amb altres components de l'aliment, fins i tot durant el llarg procés d'emmagatzematge, i permet camuflar sabors i aromes. Les microcàpsules poden protegir també els components actius durant el processament (canvis de temperatura i pH) i emmagatzematge de l'aliment.



Microcàpsula d'aliment desenvolupada en l'Institut de Ciències Marines d'Andalusia, Cadis. Font: ICMAN-CSIC (2006)

L'eficiència de la microencapsulació està directament relacionada amb les propietats fisicoquímiques dels materials de paret, com ara el pes molecular, la solubilitat, la cristallinitat, la formació de la coberta i la difusibilitat. Hi ha una àmplia varietat de materials de paret o cobertura que poden ser usats sols o barrejats per a encapsular ingredients alimentaris, entre els quals es troben els

alginats, les pectines de baix metoxil i els midons modificats. Els dos primers formen gels estables en reaccionar amb els ions de calci, no són tòxics, tenen un cost baix i es consideren segurs per a l'ús en aliments (Song i altres, 2003).

Per a la producció de microcàpsules s'han proposat diversos mètodes que es divideixen en processos físics (assecament per aspersió, extrusió i recobriment per aspersió), processos fisicoquímics (coacervació simple o complexa i atrapament en liposomes) i processos químics. La selecció del mètode dependrà de la grandària mitjana de la partícula requerida i de les propietats fisicoquímiques de l'agent encapsulant i de la substància que es vol encapsular, de les aplicacions per al material microencapsulat, del mecanisme d'alliberament desitjat i del cost. L'encapsulació de sabors prevé reaccions indesitjables amb altres components de l'aliment, fins i tot durant un llarg procés d'emmagatzematge.

S'han desenvolupat diversos mètodes per a encapsular sabors i aromes. L'assecament per aspersió és el més utilitzat en la indústria alimentària atès que es tracta d'un mètode econòmic i efectiu en la protecció de materials. Els midons modificats, les maltodextrines i les gomes s'empren com a materials paret. El material que es vol encapsular s'homogeneïtza amb el portador. Posteriorment, la barreja s'asseca per aspersió i s'atomitza per mitjà d'un filtre o disc. Després d'aquest procés, es recullen les càpsules formades, i estan llestes per a ser emprades. Actualment s'estan estudiant nous materials paret, com col·loides i gomes naturals, per a l'obtenció de barreges que permetin incrementar la retenció de compostos volàtils i la vida comercial de les microcàpsules. Així, s'ha aconseguit la retenció d'olis essencials de taronja i se n'ha disminuït l'oxidació en usar goma aràbiga, la qual cosa indubtablement permet la inclusió de substàncies actives sense que quedin afectades pels processos de digestió iniciats a la boca i l'estómac.

Un altre mètode és el d'aspersió per refredament o congelació, que consisteix a barrejar el material que s'ha d'encapsular amb el producte portador i atomitzar-lo per mitjà d'aire fred. Les microcàpsules es produeixen per nebulització de l'emulsió o suspensió que conté el material paret i la substància activa sòlida o líquida. Les cobertures més utilitzades són olis vegetals en el cas de l'aspersió per refredament o oli vegetal hidrogenat per a l'aspersió per congelament; així es poden encapsular líquids sensibles a la calor i materials que no són solubles en dissolvents convencionals. La reducció de la temperatura produeix una solidificació del lípid que actua com a paret i l'atrapament de la substància activa en el centre de la càpsula. L'aspersió per refredament és usualment emprada per a encapsular sulfat ferrós, vitamines, minerals o acidulants. Les aplicacions més comunes de l'aspersió per congelació són l'assecament de sopes i els aliments amb alt contingut de greix. Les microcàpsules produïdes per refredament o congelació són insolubles en aigua a causa de la cobertura de lípids, per la qual cosa s'encapsulen materials solubles com enzims, vitamines solubles en aigua i acidulants.

5.1. Encapsulació amb ciclodextrines

Un dels mètodes més efectius actualment per a l'encapsulació és l'ús de ciclodextrines (CD) per a formar, d'aquesta manera, un sistema d'alliberament controlat.

Les CD són oligosacàrids de glucosa, cíclics no reductors, obtinguts com a resultat de la degradació enzimàtica (ciclomaltodextrina-glucanotransferasa, E.C. 2.4.1.1.9) del midó (Szetjli, 1998). La molècula de CD presenta una estructura tridimensional en forma de con truncat. Una altra propietat que ha cridat l'atenció de les CD és que posseeixen l'habilitat d'actuar com a contenidors moleculars en atrapar molècules hoste en la cavitat interna, en un procés anomenat normalment *complex d'inclusió*.

Les CD han estat reconegudes com un dels materials més importants que serveixen de matriu per a encapsular molècules orgàniques en medis aquosos, en què la hidrofobicitat de l'hoste pot conduir a la formació de complexos estables amb la cavitat hidrofòbica de la CD (Álvarez-Parrilla i altres, 2005).

L'eficiència del procés de microencapsulació depèn de les propietats tant de l'hoste com de la CD. Normalment quan es forma el complex d'inclusió entre la molècula hoste i la CD, augmenta l'estabilitat de la molècula hoste. Quan l'hoste és encapsulat, pot patir canvis en les propietats químiques i físiques: protecció contra la llum i l'oxigen, modificació de la reactivitat química, reducció de la volatilitat i augment de la solubilitat aquosa. Així s'obtenen diversos avantatges com, a més dels ja esmentats, facilitar el maneig de substàncies altament hidrofòbiques, transformar compostos líquids o gasosos en sòlids, protegir contra la degradació microbiana, emmascarar olors, sabors i colors, i un dels més importants, l'alliberament controlat de l'hoste encapsulat (Madene i altres, 2006). Les propietats esmentades abans de les CD les han convertit en útils en diversos processos industrials, principalment en el sector farmacèutic, cosmètic, de protecció ambiental, de bioconversió i l'alimentari (Álvarez-Parrilla i altres, 2005). Aquesta habilitat de les CD pot ser d'interès per al sector agrícola en la conservació de vegetals sencers i frescos tallats. Paral·lelament, altres estudis han intentat retardar la maduració de les fruites mitjançant la complexació de l'etilè a l'interior de la α -CD (Álvarez-Parrilla i col·laboradors, 2005) i d'altres parlen de l'emergent tecnologia d'envasament com un suport capaç d'alliberar els compostos amb propietats específiques (com antimicrobians, antioxidants, enzims o sabors) per a preservar, millorar o donar valor afegit a l'aliment. Dins de l'àrea d'envasos antimicrobians actius, els additius d'origen natural tenen una acceptació millor que els sintètics. Per aquesta raó, en resposta als canvis dinàmics en la mentalitat del consumidor modern, a les demandes que forgen les tendències del mercat, l'àrea d'envasos actius ha pres importància i els complexos en CD podrien ajudar en la formulació d'envasos actius i intel·ligents.

Considerant l'augment en les demandes dels consumidors i la indústria alimentària, les futures investigacions es poden enfocar en l'optimització del procés de microencapsulació, la cinètica d'alliberament dels compostos antimicrobians cap a l'hoste, els pretractaments per a incrementar o disminuir la velocitat d'alliberament causat per l'alta HR, temperatura i matriu de l'aliment, i trobar dosis òptimes per a avaluar l'activitat antimicrobiana, sensorial i la qualitat dels fruits frescos tallats, per exemple.

L'encapsulació permet retenir certes substàncies dels aliments o microorganismes i protegir-los de l'acció de l'estómac, la qual cosa permet el pas cap a l'intestí de microorganismes i nutrients no alterats amb els demostrats avantatges nutricionals i de protecció de l'aparell digestiu.

Bibliografia

Aguado, J.; Calles, J. A.; Cañizares, P.; López, B.; Santos, A.; Serrano, D. (2002). "Ingeniería de la industria alimentaria". A: F. Rodríguez (ed.). *Operaciones de procesamiento de alimento* (vol. II).

Álvarez-Parrilla, I.; De la Rosa, L. A.; Rodrigo-García, J. (2005). *Aplicaciones de las ciclodextrinas en alimentos. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. Alfa editores técnicos.

Arqué-Clemens, J. (2008). "Proceso de fraccionamiento de aceites y grasas por vía seca". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 233, pàg. 40-43).

Barbosa-Cánovas, G. V.; Pothakamury, O. R.; Palou, I.; Swanson, B. G. (1998). "High intensity pulsed electric fields: Processing equipment and design". A: *Nonthermal preservation of foods*. Marcel Dekker.

Bertuco, A.; Vetter, G. (2001). *High Pressure Process Technology: Fundamentals and Applications*. Amsterdam: Elsevier.

Blanco Fuentes, C. A.; Gómez Pallares, M.; Ronda Balbás, F.; Caballero Calvo, P. A. (2006). *Técnicas avanzadas de procesamiento y conservación de alimentos*. Secretariat de Publicacions de la Universitat de Valladolid.

Brunner, G. (1994). *Gas Extraction. An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the Application to Separation Processes*. Nova York: Steinkopff / Darmstadt: Springer.

Callejas, A. T.; Bariain, N.; López, J.; Robles, P.; Artés, F.; Artés-Hernández, F. (2008). "Radiación UV-C en brotes de hortalizas foliáceas. Una alternativa a la desinfección con cloro en el procesamiento mínimo en fresco". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 231, pàg. 46-49).

Casp, A.; Abril, J. (1999). "Procesos de conservación de alimentos". A: *Panorama histórico de la conservación de alimentos*. ("Tecnología de Alimentos").

Clemente-Jiménez, J. M.; Mingorance-Cazorla, L.; Martínez-Rodríguez, S.; Las Heras-Vázquez, F. J.; Rodríguez-Vico, F. (2005). "Influence of sequential yeast mixtures on wine fermentation". *International Journal of Food Microbiology* (núm. 98, pàg. 301-308).

Chang, C. J.; Chiu, K. L.; Chen, I. L. (2000). "Separation of catechins from green tea using carbon dioxide extraction". *Food Chemistry* (núm. 68, pàg. 109-113).

Cheftel J. C.; Thiebaud, M.; Dumay, I. (2002). "Pressure-assisted freezing and thawing of foods: A review of recent studies". *High Pressure Research* (núm. 22, pàg. 601-611).

Comaposada, J.; Arnau, J.; Garriga, M.; Xargayó, M.; Bernardo, H.; Corominas, M.; Gou, P.; Lagares, J.; Freixanet L.; Monfort, J. M. (2008). "Secado ultrarrápido de productos cárnicos crudos curados". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 236, pàg. 54-57).

Duke-Rohner, M. (2007). "Evolution of the food industry –People, tools and machines". *Trends in Food Science and Technology* (núm. 18, pàg. 9-12).

Dunn, J. (1996). "Pulsed light and electric field for foods and eggs". *Poultry Science* (núm. 75, pàg. 1133-1136).

Dunn J.; Buschnell, A.; Ott, T.; Clark, W. (1997). "Pulsed white light food processing". *Cereal Food World* (núm. 42, pàg. 510-515).

Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesamiento de los alimentos: Principios y prácticas*. Ed. Acribia.

Fernández, M.; Ordóñez, J. A.; Bruna, J. M.; Herranz, B.; Hoz, L. (2000). "Accelerated ripening of dry fermented sausages". *Trends in Food Science and Technology* (núm. 11, pàg. 201-209).

Fine, F.; Gervais P. (2004). "Efficiency of Pulsed UV Light for microbial decontamination of Food Powders". *Journal of Food Protection* (núm. 67, pàg. 787-792).

Fleet, G. H. (2003). "Yeast interactions and wine flavour". *International Journal of Food Microbiology* (núm. 86, pàg. 11-22).

Franco, I.; Prieto, B.; Cruz, J. M.; López, M.; Carballo, J. (2002). "Study of the biochemical changes during the processing of Androlla, a Spanish dry-cured pork sausage". *Food Chemistry* (núm. 78, pàg. 339-345).

Gallego-Juárez, J. A.; Rodríguez-Corral, G.; Gálvez-Moraleda, J. C.; Yang, T. S. (1999). "A new high-intensity ultrasonic technology for food dehydration". *Drying Technology* (núm. 17, pàg. 597-608).

Granchi, L.; Ganucci, D.; Messini, A.; Vincenzini, M. (2002). "Enological properties of *Hanseniaspora osmophila* and *Kloeckera corticis* from wines produced by spontaneous fermentations of normal and dried grapes". *FEMS Yeast Research* (núm. 2, pàg. 403-407).

Grefeuille, V.; Abecassis, J.; Bar l'Helgouac'h, C.; Lullien-Pellerin, V. (2005). "Differences in the aleurone layer fate between hard and soft common wheats at grain milling". *Cereal Chem.* (vol. 2, núm. 82, pàg. 138-143).

Giró, S. (2005). "Visión artificial en la industria alimentaria". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 203, pàg. 83-85).

Hammes, W. P.; Bantleon, A.; Min, S. (1990). "Lactic acid bacteria in meat fermentation". *FEMS Microbiology Reviews* (núm. 87, pàg. 165-174).

Herrero, A. M.; Romero de Ávila, M. D. (2006). "Innovaciones en el procesado de alimentos: tecnologías no térmicas". *Revista Médica de la Universidad de Navarra* (núm. 50, pàg. 71-74).

Hoover, D. G. (2001). "Ultrasound". *Journal of Food Science. Supplement Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies* (pàg. 93-95).

Knorr, D. (2000). "Process aspects of high-pressure treatment of food systems". A: G. V. Barbosa-Cánovas; G. W. Gould (ed.). *Food Preservation Technology Series. Innovations in Food Processing*. Technomic Publishing.

Knorr, D.; Zenker, M.; Heinz, V.; Lee, D. O. (2004). "Applications and potencial of ultrasonics in food processing". *Trends in Food Science and Technology* (núm. 15, pàg. 261-266).

Koo, S. M.; Cho, I. H.; Hun, C. S.; Baek, I. J.; Park, J. (2001). "Improvement of the stability of *Lactobacillus casei* YIT 9018 by microencapsulation using alginate and chitosan". *Journal of Microbiology and Biotechnology* (núm. 11, pàg. 376-383).

Lafuente, V.; Pérez, J.; Toledano, M. A. (2008). "Naranjas peladas frescas y envasadas. Desarrollo de un producto envasado fresco". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 229, pàg. 60-62).

Leizeron, S.; Shimoni, I. (2005). "Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (núm. 53, pàg. 4012-4018).

L'Hocine L.; Boye, J. I.; Arcand, I. (2006). "Composition and Functional Properties of Soy Protein Isolates Prepared Using Alternative Deffating and Extraction Procedures". *Journal of Food Science* (vol. 3, núm. 71, pàg. 137-145).

Llull, P.; Simal, S.; Benedito, J.; Rosello, C. (2002). "Evaluation of textural properties of a meat-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques". *Journal of Food Engineering* (núm. 53, pàg. 279-285).

López, B. G.; López-Pedamonte, G. G.; Roig, A.; Yuste, J.; Capellas, M.; Pla, R., Mor-Mur, M.; De Lamo, S. (2005). "Aplicación de altas presiones en alimentos: aspectos microbiológicos. Combinación con otros métodos físicos y químicos". *Alimentaria* (núm. 360, pàg. 11-16).

Mahaut, M.; Jeantet, R.; Brulé, G.; Schuck, P. (1993). *Productos lácteos industriales*. Editorial Acribia.

Mañas, I. (2008). "Tecnología en las aguas de proceso y residuales". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 230, pàg. 28-31).

Marín Martínez, A. (2008). "Procesos de precipitación, coprecipitación y encapsulación de sustancias naturales basados en el uso de fluidos supercríticos". *Alimentaria. Especial invierno* (pàg. 109-112).

Martín A.; Cocero, M. J. (2008). "Micronization processes with supercritical fluids: Fundamentals and mechanisms". *Advanced Drug Delivery Reviews* (núm. 60, pàg. 339-350).

McClements, D. J. (1995). "Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing". *Trends in Food Science and Technology* (núm. 9, pàg. 293-299).

Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí. *La industria Alimentaria. Ganando dimensión para competir* [document en línia]. <http://www.mapa.es/alimentacion/pags/Industria/informacion_economica/ganar_dimension.pdf>

Mohamed, R. S.; Mansoori, G. A. (2002). "The Use of Supercritical Fluid Extraction Technology in Food Processing". *Food Technology Magazine*. Londres: The World Markets Research Center [featured article].

Mulet, A.; Carcel, J. A.; Sanjuan, N.; Bon, J. (2003). "New food drying technologies. Use of ultrasound". *Food Science and Technology* (núm. 9, pàg. 215-221).

Murray, I. D.; Arntfield, S. D.; Ismond, M. H. H. (1985). "The influence of processing parameters on food protein functionality II. Factors affecting thermal properties as analyzed by differential scanning calorimetry". *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* (núm. 18, pàg. 158).

Ohlsson, T. (2002). *Minimal processing of foods with senar-thermal methods. Minimal processing Technologies in the food industry*. T. Ohlsson; N. Bengtsson (eds.). Woodhead Publishing limited.

Organització Mundial de la Salut (1989). *La irradiación de los alimentos. Técnicas para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos*.

Pasquali, I.; Bettini, R.; Giordano, F. (2006). "Solid-state chemistry and particle engineering with supercritical fluids in pharmaceuticals. Review". *European Journal of Pharmaceutical Sciences* (núm. 27, pàg. 299-310).

Peiró-Mena, R.; Martínez-Navarrete; Barat, J. M. (2007). "La deshidratación osmótica. Gominolas a partir de una disolución de la deshidratación osmótica de fresa". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 228, pàg. 48-51).

Querol, A.; Barrio, I.; Ramón, D. (1992). "Molecular monitoring of wine fermentations conducted by active dry yeast strains". *Applied Environmental Microbiology* (núm. 58, pàg. 2948-2953).

Raventós, M. (2005). *Tecnología de fluids alimentaris*. Barcelona: Edicions UPC.

Sanchez, M. T.; Sánchez, T. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Mundi-Prensa Libros.

Santatos, I.; Quinela, J. C. (2006). "Extractos vegetales como ingredientes alimentarios con propiedades funcionales y de prevención de riesgo de una enfermedad". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 216, pàg. 72-75).

Sastry, S. K.; Barach, J. (2001). "Ohmic and Inductive heating". *Journal of Food Science. Special Supplement: Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies* (pàg. 42-46).

Sevilla, A. J.; Carreño, A. J.; Ruiz, I.; Pérez, J. A.; Carbonell, A. (2008). "Platos preparados precocinados. Cocina tradicional y ciencia y tecnología de los alimentos". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 237, pàg. 44-47).

Smelt, J. P. P. M. (1998). "Recent advances in the microbiology of high pressure processing". *Trends in Food Science Technology* (núm. 9, pàg. 152-158).

Soliman, K. M.; Badeea, R. I. (2002). "Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi". *Food Chemistry Toxicology* (núm. 40, pàg. 1669-1675).

Song, S. H.; Cho, I. H.; Park, J. (2003). "Microencapsulation of *Lactobacillus casei* YIT 9018 using a Microporous Glass Membrane Emulsification System". *Journal of Food Science* (núm. 68, pàg. 195-200).

Stone, M. H.; Fleck, S. J.; Kraemer, W. J.; Triplett, N. T. (1991). "Health and performance related changes adaptations to resistance training". *Sports Medicine* (núm. 11, pàg. 210- 231).

Szetjli, J. (1998). "Introduction and general overview of cyclodextrin chemistry". *Chemistry Review* (núm. 98, pàg. 1743-1753).

Valdemoros, J. L. (2008). "La filtración del agua en la industria alimentaria. Un proceso imprescindible". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 236, pàg. 48-51).

Valenzuela, A. (2004). "Tea consumption and Elath: beneficial characteristics and properties of this ancient beverage". *Revista Chilena de Nutrición* (núm. 31, pàg. 2-8).

Vercet, A.; Burgos, J.; López-Buesa, P. (2001). "Manothermosonication of foods and food-resembling systems: effect on nutrient content and non-enzymatic browning". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (núm. 49, pàg. 483-489).

Vetter, G.; Luft, G.; Maier, S. (2001). "Chapter 4. Design and construction of high-pressure equipment for research and production". A: *High Pressure Process Technology: Fundamentals and Applications* (pàg. 141-242). ("Industrial Chemistry Library", 9).

Villamiel, M.; Corzo, N.; Martínez-Castro, I.; Olano, A. (1996). "Chemical changes during microwave treatment of milk". *Food Chemistry* (núm. 56, pàg. 385-388).

Villamiel, M.; López-Fandiño, R.; Corzo, N.; Martínez-Castro, I.; Olano, A. (1996). "Effects of continuous-flow microwave treatment on chemical and microbiological characteristics of milk". *Z-Lebensmittel Unters Forch* (núm. 202, pàg. 15-18).

Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, I.; Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J. A. (2007). "Antifungal Activities of Thyme, Clove and Oregano Essential Oils". *Journal of Food Safety* (núm. 27, pàg. 91-101).

Wang, H.; Helliwell, K. (2000). "Epimerisation of catechins in green tea infusions". *Food Chemistry* (núm. 70, pàg. 337-344).

Wäppling-Raaholt, B.; Ohlsson, T. (2005). "Improving the heating uniformity in microwave processing". A: H. Schubert; M. Regier (eds.). *In The microwave processing of foods* (pàg. 292-312). CRC Press.

Warczok, J.; Ferrando, M.; López, F.; Güell, C. (2005). "Concentración de soluciones de azúcares mediante procesos de separación por membranas". *Alimentación, Equipos y Tecnología* (núm. 203, pàg. 74-79).

Yeo, S. D.; Kiran, I. (2005). "Formation of polymer particles with supercritical fluids: A review". *Journal Of Supercritical Fluids* (núm. 34, pàg. 287-308).

Zhang, J.; Davis, A.; Matthews, M.; Drews, M.; LaBerge, M.; Yuehwei, H. (2006). "Sterilization using high-pressure carbon dioxide". *Journal of Supercritical Fluids* (núm. 38, 354-372).

Llibres recomanats

Blanco, C. (2008). *Técnicas avanzadas de procesado y conservación de alimentos*. Ed. Booksurge Llc.

Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y práctica*. Acribia.

Mazza, G.; Quiñones, J. (2000). *Alimentos funcionales: Aspectos bioquímicos y de procesado*. Acribia.

Ohlsson, T. (2002). "Minimal processing of foods with non-thermal methods". A: T. Ohlsson; N. Bengtsson (eds.). *Minimal processing Technologies in the food industry*. Abington: Woodhead Publishing limited.

Raventós, M. (2005). *Industria alimentaria, tecnologías emergentes*. Barcelona: UPC.

Richardson, P.; Ibarz, A. (2004). *Tecnologías térmicas para el procesado de los alimentos*. Acribia.

Sánchez Pineda, M. T.; Sánchez de las Infantas, M. T. (2003). *Procesos de elaboración de alimentos y bebidas*. Mundi-Prensa Libros.