

# LA CONSERVACIÓ DELS ALIMENTS

RAMON ROSELL I RIUS

**D**ESPRÉS de fer una introducció sobre les causes de la degradació dels aliments, l'autor passa a considerar els mètodes de preservació, i tot seguit fa una exposició exhaustiva i completa de l'assecatge o deshidratació dels aliments.

## 1. Introducció

Tots els éssers vius estan subjectes al mateix cicle vital: néixer, créixer fins arribar a la maduresa per reproduir-se i, finalment, morir. Aquest cicle s'expressa també en dos conceptes àmpliament divulgats: la conservació de l'individu i la conservació de l'espècie. Però, en definitiva, i segons Dawkins, el que realment interessa a cada espècie és la perpetuació genètica i, en conseqüència, l'individu es conservaria mentre tingués capacitat de reproduir-se. De la mateixa manera, la complexitat dels individus de cada espècie obeeix a l'intent de millorar la protecció dels seus gens, tant enfront de les condicions ambientals adverses com davant altres organismes competidors que igualment defensen el seu patrimoni genètic.

Com a resultat d'aquest procés, tots els éssers vius necessiten renovar el seu material estructural del desgast al qual estan sotmesos pel fet de mantenir-se en vida esperant o exercint la seva capacitat reproductora. A la vegada, els cal també disposar de l'energia necessària que es consumeix quan es realitza qualsevol activitat.

La matèria constitutiva de tot ésser viu es redueix, en última instància, a unes poques famílies químiques com ara les proteïnes, els hidrats de carboni, els greixos, les sals minerals, els àcids, etc., i ha d'obtenir per aportacions de l'exterior tant el material indispensable per a la seva renovació estructural com per a les seves necessitats energètiques. Aquesta aportació exterior és el que generalment definim com aliments. Al seu torn, els aliments, a excepció de determinada capacitat de síntesi que tenen certes espècies, han d'estar constituïts bàsicament per les mateixes famílies químiques que hem esmentat com a constitutives de tot ésser viu. Però l'assimilació de matèria (gairebé sempre amb el desdoblament previ en estructures més elementals i la seva posterior recombinació per donar material propi), l'eliminació de residus no aprofitables i les transferències energètiques no tenen lloc si no es fan en mitjà aquós. L'aigua esdevé doncs imprescindible per a la vida. A causa d'aquesta exigència, tot ésser viu té l'aigua com a element primordial de la seva constitució.

En resum, per als éssers vius en general, i per a l'espècie humana en particular, el que

podem qualificar pròpiament com aliments són, en últim terme, altres organismes (vegetals o animals) o els seus derivats o manufacturats, que formen part del cicle competitiu d'alimentar-se a la vegada que serveixen d'aliment a altres espècies.

Ara bé, pràcticament totes les espècies animals, amb l'excepció d'algunes pràctiques especialitzades, fan un consum immediat dels aliments de què disposen ja que, en cas contrari, els aliments són atacables per agents físico-químics (p. e. oxigen) a causa de la seva composició química i, en el cas de l'espècie humana, subjecte a la competència de molts altres éssers vius, des de bacteris fins a animals superiors.

Si ens referim exclusivament a la espècie humana, per evitar la possibilitat d'una alteració seria aconsellable també un consum immediat després de la recol·lecció o del sacrifici. Però de mica en mica el desenvolupament de la civilització i els moviments de població que això ha comportat, han fet força difícil aquesta disponibilitat ja que han entrat en joc molt condicionants. Esmentem per la seva importància: els factors climàtics i geogràfics (productes de zones temperades no disponibles en zones fredes, navegació, etc.); les variacions estacionals dins una mateixa àrea (aplicable bàsicament a productes de procedència vegetal en relació a les collites); la disponibilitat totalment aleatòria (com és el cas de la caça i de la pesca); etc.

Aquestes limitacions han significat un repte al desig de disposar de qualsevol aliment en qualsevol circumstància. A més, la situació s'ha complicat perquè la distància física entre el lloc d'origen i el de consum ha anat augmentant tant pel transcurs del temps com per diversos factors. Si en un principi aquesta distància era condicionada per determinades activitats humanes (p. e. mineria, ports de mar, etc.), més tard s'ha vist afectada per l'evolució demogràfica cap a grans concentracions humanes (grans ciutats, centres de negocis) i també per una millor rendibilitat com més grans són els centres productors. I encara s'hi ha afegit un creixent interès pels productes exòtics procedents de llocs allunyats. Com a resultat de tot això, s'ha fet imprescindible transportar els aliments a considerables distàncies i mantenir-los en un bon estat de conservació.

Les primeres mesures adoptades amb aquesta finalitat són molt antigues i molt variades. Van des de l'aparició de l'agricultura i l'establiment dels animals a procediments incipients de conservació (assecat de

fruits, fumats i salats de carns i peixos, etc.). Però, poc a poc, s'han anat desenvolupant mètodes i precaucions que, aplicats selectivament i en els punts de màxima efectivitat, protegeixen el producte enfront dels agents de qualsevol tipus que afecten no sols la conservació i l'aspecte del producte, sinó, primordialment, la seva salubritat.

## 2. Causes d'alteració dels aliments

Arribat el moment del consum d'un aliment, hem de considerar què valorem com a negatiu o com a motiu de rebuig, quines causes han originat la seva alteració des de l'origen fins al consum i de quines mesures o tècniques disposem per minimitzar el seu deteriorament.

Per tal d'establir quins mètodes de preservació poden resultar més adients, cal conèixer les característiques físiques, (estructura, composició, etc.) de l'aliment en qüestió; els successius ambients en què es pot trobar (factors climàtics, contaminants, etc.), i totes les possibles fonts tant internes com externes d'alteració. Sempre però i com ja hem dit, és imprescindible la presència d'aigua (o un cert grau d'humitat) que cooperi en qualsevol procés d'alteració.

Els agents que causen una alteració dels aliments poden classificar-se en dos grans grups:

- 2.1.) Agents que actuen de forma genèrica, natural, imprevista o de difícil control.
  - 2.1.1) De procedència interna: agents enzimàtics i catalítics.
  - 2.1.2) De procedència externa: nombrosos agents físicoquímics com són la llum, la calor, l'oxidació, etc.
  - 2.1.3) Contaminants accidentals.
- 2.2) Organismes que competeixen en el consum d'aliments i que, com que viuen en estret contacte (fins i tot en el si) dels productes dels quals s'alimenten, originen que els seus individus, colònies, deixalles o productes metabòlics elaborin productes inadequats i fins i tot perillosos per al consum humà. La llarga llista d'organismes competidors, responsables de l'alteració per ells mateixos o per les seves deixalles pot resumir-se a:

- 2.2.1) Microorganismes (microbis, bacteris, virus, etc.).
- 2.2.2) Insectes (adults, larves, ous, deposicions, etc.).
- 2.2.3) Animals superiors (contaminació per pèls, saliva, deposicions, etc.).

### 3. Mètodes de preservació

Els mètodes de preservació o de conservació s'han d'adequar als agents causants de l'alteració. La protecció pot fer-se aïllant el producte de l'atac dels agents destructors, eliminant directament el propi agent o inactivant la seva acció. Considerem doncs:

- 3.1) Contrarestant els agents esmentats a 2.1:
  - Inactivació de les activitats enzimàtiques (conservants, calor, productes químics, etc.).<sup>1</sup>
  - Interferència en l'acció catalítica específica.
  - Protecció per l'envàs (envasos opacs, rígids, al buit, etc. impermeables a la llum, oxigen, humitat, etc.).
  - Eliminació d'aigua per intervenir en totes aquestes accions.
- 3.2) Contrarestant els agents esmentats a 2.2:
  - Activitat microbiana: disminuir-la al màxim o fer-la estadísticament irrelevant, mitjançant interferir en el cicle vital dels organismes.
    - a) sobre ells mateixos (destrucció per la calor, fred, pressió osmòtica, etc.).<sup>1</sup>
    - b) creant condicions ambientals adverses per al seu desenvolupament (fred, eliminació d'aigua, etc.).
  - Acció dels insectes. Eliminar-la o dificultar-la per mitjà de:
    - a) impedir l'accés dels insectes a l'aliment (al recinte on es guarda) i la nidificació (envasat estanc, disseny i sobrepressió en magatzems, etc.).
    - b) acció directa sobre l'insecte i els seus ous (fumigació, desinsecta-

- ció, destrucció mecànica o elèctrica, radiacions, etc.).
- c) crear condicions ambientals adverses (fred).

- Animals superiors. Eliminar o dificultar l'acció.
  - a) impedir l'accés al lloc d'emmagatzematge (disseny sanitari, reixes, esclotxes, defectes de construcció, etc.).
  - b) destrucció directa (tòxics específics, etc.).
  - c) crear condicions ambientals adverses (fred, ultrasons, etc.).

L'eliminació d'aigua no és eficaç per prevenir l'acció dels insectes ni dels animals superiors ja que els primers tenen unes exigències mínimes i tant a uns com als altres els resulta relativament fàcil desplaçar-se per buscar-la en altres indrets.

Cada un d'aquests mètodes origina una tecnologia específica, amb els seus avantatges, limitacions i aplicacions concretes. L'exposició de cada una necessita un tractament extens.

Però sigui quin sigui l'agent causant de la deterioració d'un aliment, ja hem comentat que la presència d'aigua n'és un factor determinant. L'aigua intervé en l'acció de la majoria d'agents físico-químics i en tots els processos en què la deterioració és d'origen biològic. Recordem que el contingut d'aigua en els aliments és molt important: des d'un 60 % a la carn fins a un 95 % als vegetals de fulla. Per tant, l'eliminació d'aigua sempre ha estat un dels procediments més utilitzats, tant per la seva efectivitat com pel seu cost, ja que en el seu estadi més senzill es resumeix en un simple assecat a l'aire. Al llarg del temps s'han anat desenvolupant mètodes més sofisticats fins arribar a la varietat actual de processos de deshidratació.

---

## L'ASSECATGE O DESHIDRATACIÓ DELS ALIMENTS

---

### 1. De l'assecatge natural i espontàni a la industrialització

De tots els mitjans de conservació d'aliments vegetals i/o animals, és indubtable que l'assecatge fou un dels primers utilitzats

<sup>1</sup> En un article publicat en aquesta mateixa revista, (TECA, 37-41, n.º 0, 1996), B. Guamis fa referència a les tècniques més modernes en aquest camp.

per la raça humana. Alguns productes naturals, principalment els grans, no es descomposaven un cop secs per exposició natural al sol i, millor encara, simultàniament al sol i a un corrent d'aire, és a dir, amb calefacció i ventilació. Per contra, en determinades condicions climàtiques, la descomposició tenia lloc en molts productes sense que arribessin a assecar-se.

No és d'estranyar, doncs, que intentar l'eliminació d'aigua artificialment per conservar els productes alimentaris fos un objectiu bastant immediat i que com la majoria de processos utilitzats des de molt antic, comencés de forma totalment empírica. L'observació que la disminució del contingut d'aigua d'un producte era més ràpida com més gran era la calor subministrada, la ventilació, i la superfície exposada va portar a assajar l'assecatge dels productes extenent-los i sotmetent-los a un corrent d'aire calent, prèviament trossejats si la pràctica ho feia aconsellable.

D'aquí que, a partir del primitiu mètode d'assecatge per exposició de productes al sol en dies secs i ventosos, s'anés a una incipient industrialització de l'assecatge en què es col·locava el producte sobre enreixats de fusta i es feia circular aire calent a través.

El procediment, utilitzat satisfactòriament amb llegums, grans, determinades fruites i vegetals, etc. fou aplicat independentment per molts pobles tant del vell com del nou continent. En un exemple citat per Desrosier (8), els pobladors precolombins d'Amèrica ja assecaven aliments a la calor del foc.

Copley-Van Arsdel (5), Desrosier (8), etc. situen les primeres referències de l'assecatge com a procés industrial al segle XVIII. Citen com a primera cambra d'assecatge la construïda per Mason i Challet en 1795 per fer passar un corrent d'aire calent (40 °C) sobre vegetals tallats en làmines fines.

Entre finals del 1800 i principis del 1900 els processos d'assecatge varen rebre un gran impuls. L'eliminació d'aigua de molts productes, sobretot l'assecatge de productes forestals i en primer lloc entre ells els referents a la fabricació de paper va convertir-se en una indústria de primera magnitud.

L'evolució històrica dels processos d'assecatge ha tingut lloc en dues direccions sovint lligades una a l'altra: l'ampliació de la possibilitat de deshidratació de noves primeres matèries i la utilització de les noves tecnologies de deshidratació.

La diversificació d'aplicacions ha portat a desenvolupaments per tractar: 1) productes alimentaris en la seva presentació natural (ex. vegetals, fruites, etc.) i en els que l'aigua té diferents graus de fixació en els teixits; 2) productes també naturals o procedents de tractaments previs, que es presenten com a líquids o amb un contingut d'aigua molt elevat (ex. llet, extracte de café, etc.), i 3) productes pastosos (ex. determinats extractes, sucs, etc.).

El desenvolupament de les noves tecnologies ha permès estendre el camp dels processos d'assecatge. A banda dels mètodes mecànics o físics (expremut, filtrat, centrifugat, deshidratació osmòtica, deshidratació a alta pressió, etc.), el clàssic mètode tèrmic d'assecatge al sol o amb aire calent ha evolucionat cap a perfeccionaments en els equips que han permès obtenir-ne millors resultats, o a treballar amb mètodes totalment nous. Així tenim: 1) reducció de la temperatura d'assecatge per mitjà del buit (aplicable en especial als tèrmicament làbils); 2) assecatge en capa fina sobre cilindres (rodets o tambors: extractes o suspensions, com ara sucs de fruita, purés, etc.); 3) assecatge per polvorització (llet, extractes, ou, etc.); 4) crioevaporació o liofilització (ou, líquids orgànics, sang, etc.); 5) assecatge per radiacions (microones); 6) assecatge per extrusió o expansió (ex. prods. snacks, etc.); etc.

La correlació entre necessitats i possibilitats és la que ha originat les complexes i nombroses tècniques i equips de deshidratació que disposem actualment. Una descripció ni que fos abreujada d'unes i altres estaria aquí fora de lloc, sobretot si tenim en compte la extensíssima bibliografia existent sobre el tema. A més de les entrades específiques de les enciclopèdies d'enginyeria i alimentació (15), (18), (27), (37), etc. i dels capítols sobre aquesta qüestió en llibres d'enginyeria general i alimentària (2), (3), (8), (10), (14), (19), (20), (33), etc., s'han publicat nombrosos tractats sobre deshidratació en general (4), (22), (24), etc. i sobre deshidratació d'aliments en particular (1), (5), etc. A aquesta modesta bibliografia cal afegir els resums anuals *Advances of Drying* iniciats el 1980, i *Drying* (Mujumdar ed.) que recullen per anys els treballs presentats en congressos i simposis, i la revista *Drying Technology* dedicada específicament a la deshidratació i que, de tant en tant, dedica un número monogràfic a un tema concret d'assecatge.

Malgrat els perfeccionaments posteriors i l'aparició de les més sofisticades tecnologies, cal remarcar que l'assecatge al sol o la utilització d'enreixats de fusta (o planxa metàl·lica perforada) on s'estén el producte per sotmetre'l a l'acció de l'aire calent és encara avui dia un dels mètodes més usats per a la deshidratació de productes vegetals.

Actualment, a la indústria en general, s'usen indistintament els termes *assecatge* i *deshidratació* per a aquesta operació. En el cas de la indústria alimentària, el Departament d'Agricultura dels EUA defineix com a *aliments deshidratats* aquells amb un contingut d'aigua inferior al 2,5 % (base seca) i reserva el nom d'*aliments assecats* als que després de rebre tractament tenen un contingut d'aigua superior al 2,5 %.

## 2. Aproximacions teoricopràctiques

D'acord amb l'exposició que hem fet, el que ja va quedar clar des de les primeres experiències va ser que en la deshidratació tenen lloc simultàniament dos processos:

- Una transferència d'energia calorífica (per dos tipus de procés):
  - Processos adiabàtics, en què la calor és aportada per la calor sensible de l'aire en contacte amb el producte a assecar (*convecció*).
  - Processos no-adiabàtics, en què la calor d'evaporació és transferida des de parets sòlides (*conducció*) o sumministrada per calor radiant (*radiació*).
- Una transferència de massa (o pèrdua de pes d'aigua del producte) com a resultat de dos processos que es corresponen:
  - Una evaporació d'aigua de la superfície cap a l'entorn (aire).
  - Un desplaçament de l'aigua interna cap a la superfície.

Aquestes transferències vindran afectades en la deshidratació per aire calent per les condicions externes i internes de l'entorn i del producte, que són:

### *Condicions externes al producte.* *Aire, vapor d'aigua i les seves mescles*

Com a variables fonamentals, considerarem (22):

1. Pressió parcial de vapor a l'aire.
2. Temperatura de l'aire ambient (o de termòmetre sec).
3. Temperatura de termòmetre humit.
4. Humitats absoluta i relativa (grau de saturació).
5. Punt de rosada.
6. Calor específic i capacitat calorífica.
7. Volum humit.
8. Entalpia.
9. Flux de l'aire (velocitat, circulació, etc.).

### *Condicions internes del producte*

A part de determinades característiques específiques dels aliments susceptibles o no de ser modificades, com ara la grandària o granulometria del producte i la seva distribució; la seva porositat, heterogeneïtat, estructura biològica, etc., a efectes de deshidratació considerarem com a condicionants comuns dels sòlids (22, 32):

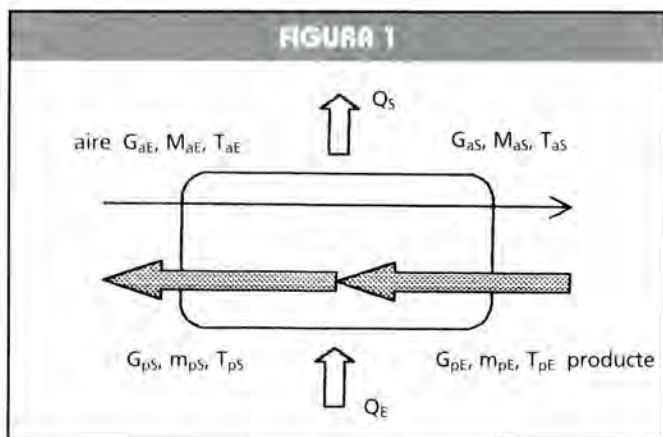
1. Calor específic.
2. Conductivitat tèrmica.
3. Contingut d'aigua. Higroscopicitat.
4. Estats de fixació de l'aigua.
5. Activitat d'aigua.
6. Mobilitat. Isotermes de sorbció.
7. Superfície activa.
8. Entalpia del sòlid.

Una descripció detallada d'aquests paràmetres, la seva mesura i les seves interrelacions es troben molt a l'abast a l'extensa bibliografia disponible sobre el tema.

Malgrat això, a l'apartat següent donarem una idea molt resumida de la relació que hi ha entre una determinada aportació d'energia i la transferència de massa (quantitat d'aigua que s'evapora) perquè en aquesta relació està la base de tot procés de deshidratació.

### *Balanç de massa i de calor*

Per a una millor comprensió, a partir de Barbosa (1), imaginem un sistema en equilibri dinàmic, consistent en un assecador amb una aportació continua de material humit sotmès a un corrent d'aire també continu. A la figura 1 representem un assecador com el descrit i els fluxos d'aire, humitat i calor que



intervenen en l'equilibri amb el següent balanç material:

• **Producte sòlid (subíndex p)**

— **Entrada (subíndex E):**

- $G_{pE}$  = kg base seca per hora
- $m_{pE}$  = contingut d'aigua (base seca)
- $T_{pE}$  = temperatura

— **Sortida (subíndex S):**

- $G_{pS}$  = kg base seca per hora = entrada
- $m_{pS}$  = contingut d'aigua (base seca)
- $T_{pS}$  = temperatura

• **Aire (subíndex a)**

— **Entrada (subíndex E):**

- $G_{aE}$  = kg aire sec per hora = entrada
- $M_{aE}$  = humitat aire (kg aigua/kg aire sec)
- $T_{aE}$  = temperatura

— **Sortida (subíndex S):**

- $G_{aS}$  = kg aire sec per hora
- $M_{aS}$  = humitat aire (kg aigua/kg aire sec)
- $T_{aS}$  = temperatura

El balanç de la humitat serà:

$$G_{pE}m_{pE} + G_{aE}M_{aE} = G_{pS}m_{pS} + G_{aS}M_{aS}$$

I el de la calor:

$$Q_E + G_{pE}E_{pE} + G_{aE}E_{aE} = Q_S + G_{pS}E_{pS} + G_{aS}E_{aS}$$

on  $E_{aE}$  i  $E_{aS}$  són les entalpies de l'aire a l'entrada i a la sortida:

$$E_{aE} = C_S (T_{aE} - T_0) + M\lambda_0$$

$$E_{aS} = C_S (T_{aS} - T_0) + M\lambda_0$$

i  $E_{pE}$  i  $E_{pS}$  les del sòlid a la entrada i a la sortida:

$$E_{pE} = C_{pS} (T_{pE} - T_0) + MC_{bh} (T_{pE} - T_0)$$

$$E_{pS} = C_{pS} (T_{pS} - T_0) + MC_{bh} (T_{pS} - T_0)$$

$Q_E$  és la calor que entra a l'assecador i  $Q_S$  la calor a la sortida;  $C_S$  = calor humida (necessària per augmentar 1 °C la temperatura

d'1 kg d'aire amb el seu contingut d'humitat);  $M$  la humitat absoluta i  $C_{pS}$  i  $C_{bH}$  la capacitat calorífica del sòlid i la de la humitat líquida respectivament.

Aquestes fórmules ens permeten fer una primera aproximació als balanços de calor i massa en condicions d'assecatge instantànies. Però si contemplem l'assecatge com una operació que dura un temps més o menys llarg, cal introduir la variable temps i veure com evoluciona el procés segons aquest nou paràmetre.

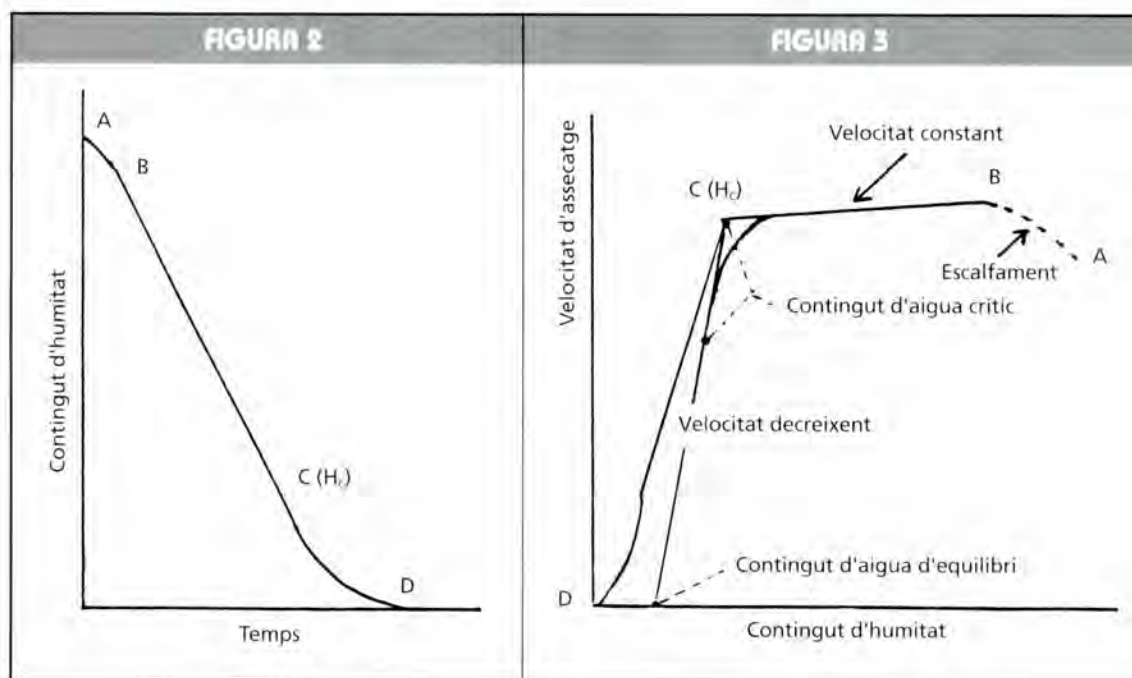
**El factor temps en l'evolució de l'assecatge. Gràfiques cinètiques i etapes del procés**

El contingut d'aigua d'un producte va disminuint a mesura que augmenta el temps d'assecatge. La variació del contingut d'aigua respecte al temps s'anomena *velocitat de deshidratació*. Aquesta variació té la forma general representada a la figura 2. Però ben aviat es va veure que era molt més convenient conèixer l'evolució d'aquesta velocitat referida al contingut d'aigua del producte, tal com es representa a la figura 3.

La corba que representa la velocitat d'assecatge en funció del contingut d'aigua per aliments que contenen més del 50 % d'aigua (base humida) presenta dues pendents clarament diferenciades. Una gairebé horitzontal, representa una *etapa de velocitat constant*, i una altra, molt més vertical, indica una *etapa de velocitat decreixent*. El punt d'inflexió correspon a un contingut d'aigua anomenat *contingut d'aigua crític* o *humitat crítica*. Alguns aliments presenten més d'un contingut d'aigua crític.

Aquesta diferència de velocitat de deshidratació respon a diferents factors. En primer lloc, la deshidratació comença amb l'evaporació d'aigua de la superfície del sòlid. Mentre aquest contingut superficial es manté constant per l'aportació de l'aigua de l'interior, la velocitat d'evaporació és igualment constant. Però quan la barreja interior d'aigua-vapor ha de desplaçar-se cap a la superfície per difusió i capil·laritat, la velocitat a la qual es produeixen aquests desplaçaments és la que fixa la velocitat d'evaporació. És aleshores quan es presenta la segona etapa.

L'aportació constant o no d'aigua cap a la superfície té el seu origen a la forma com està present l'aigua al substrat sòlid, ja que pot estar-hi com a aigua *lliure* (mobilitzable fàcilment, com el seu nom indica) o *lligada*



(quan està més o menys incorporada a l'estructura biològica). El que tota l'aigua continguda en un sòlid no estigui igualment disponible ha portat a desenvolupar el concepte i la definició d'activitat d'aigua, o humitat relativa d'equilibri, que és el contingut d'aigua que genera una pressió de vapor interna igual a la pressió de vapor de l'aire circundant. O dit altrament, és el percentatge d'humitat relativa d'un aire que en contacte amb el producte no l'humiteja ni l'asseca (32), (35). La humitat d'equilibri generalment es determina experimentalment, si bé s'han publicat fórmules per calcular-la (32). La relació de l'activitat d'aigua amb el contingut d'aigua analític d'un producte ve representada per unes corbes denominades *isotermes de sorbció*. En aquestes corbes queden clarament identificades les característiques de contingut d'aigua dels productes alimentaris a efectes de conservació (18), (21), (37).

### Càlcul del temps de deshidratació (35)

#### — 1. Etapa de velocitat constant

Per definició de l'etapa,

$$\text{Velocitat constant} = -R_c = \frac{dw_{sl}}{d\theta}$$

El temps serà (fins humitat crítica)

$$\theta_c = \frac{w_{sl} - w_{sc}}{R_c}$$

#### — 2. Etapa de velocitat decreixent

$$\text{Velocitat decreixent} = -\frac{dw_{sl}}{d\theta} = \frac{R_c}{w_{sc}} (w)$$

$$\int_{\theta_c}^{\theta} d\theta = \frac{w_{sc}}{R_c} \int_{w_c}^w \frac{dw}{w} \quad \theta - \theta_c = \frac{w_{sc}}{R_c} \ln \frac{w_{sc}}{w}$$

#### — 3. Temps total

$$\theta_c = \frac{w_{sl} - w_c}{R_c} + \frac{w_{sc}}{R_c} \ln \frac{w_{sc}}{w}$$

### Limitacions

Els balanços tèrmics, de massa i el temps de deshidratació descrits són aproximacions relativament vàlides en els càlculs per a processos industrials de deshidratació d'aliments. En diversos autors figuren exemples bibliogràfics de càlcul (19).

No obstant això, és evident que a la deshidratació de productes alimentaris intervien molt altres factors que tenen rellevància específica segons el producte. Respecte a la presentació feta anteriorment, afegirem ara que en el procés de deshidratació d'aliments predomina la deshidratació en període de velocitat decreixent (que fins i tot a vegades pot considerar-se com a període únic) i la característica que la majoria de productes alimentaris són higroscòpics (34). Kubota i col·laboradors (17) examinen la influència d'alguns dels altres factors, com ara

l'estructura del teixit cel·lular, la varietat de components (p. e. greixos, productes solubles, etc.), l'enduriment de la superfície per assecatge, la retracció a formes irregulars, els canvis biològics i químics, etc. En molts casos això fa difícil determinar el contingut d'aigua crític i altres paràmetres (p. e. coeficients de difusió) que condicionen la corba de velocitat d'assecatge. Posteriorment, donarem algunes idees sobre desenvolupaments referits a aquest tema quan tractem dels intents de modelització dels processos d'assecatge.

### 3. Mètodes i equips de deshidratació

Els mètodes d'assecatge han evolucionat al voltant dels requeriments específics de cada producte alimentari i segons la forma d'aportació d'energia. Aquí, com en tot el que hem exposat fins ara, ens limitarem als mètodes d'eliminació de l'aigua per mitjans tèrmics.

Els tipus d'aparells de deshidratació es classifiquen segons les característiques del procés (mètode d'escalfament, continu, etc.) i les del producte (forma física, contingut d'aigua, etc.).

#### Segons el mètode d'escalfament

A les figures 4, 5, 6 i 7 representem esquemàticament els aparells usats majorment en la deshidratació. Amb cada esquema indiquem els noms dels aparells industrials corresponents.

#### 1. Escalfament per convecció

##### 1.1 Producte estàtic

1.1.1 Aire calent paral·lel al producte. Safates. Estufes. Llit.

1.1.2 Aire calent a través del producte. Safates. Estufes. Llit.

##### 1.2 Producte estàtic sobre suport mòbil

1.2.1 Aire calent paral·lel al producte. Co-corrent i contracorrent. Carros. Túnel.

1.2.2 Aire calent a través del producte. Carros. Túnel.

##### 1.3. Producte en moviment sense suport

1.3.1 Aire calent co-corrent o contracorrent. Assecadors penumàtics i polvoritzadors.

#### 2. Escalfament per conducció

2.1 Producte estàtic. Safates.

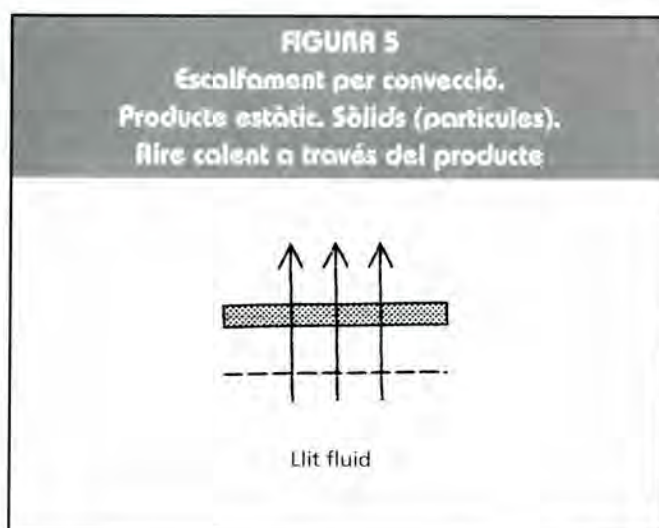
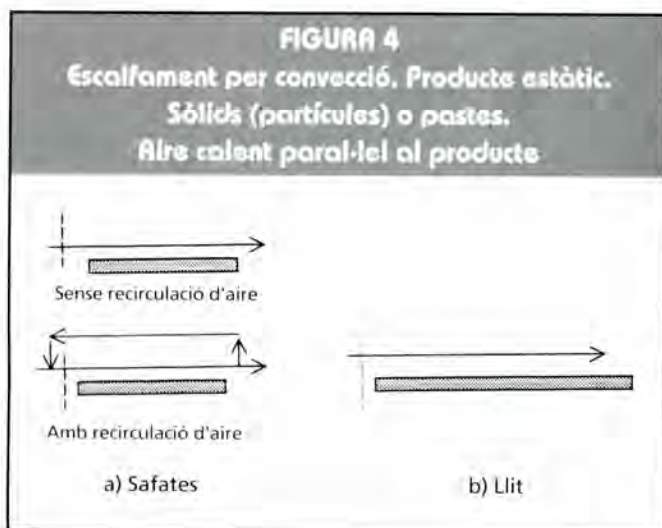
2.2 Producte estàtic sobre suport mòbil. Assecadors de cinta. Tambors.

2.3 Producte mòbil sobre suport fixe. Arteses amb agitador.

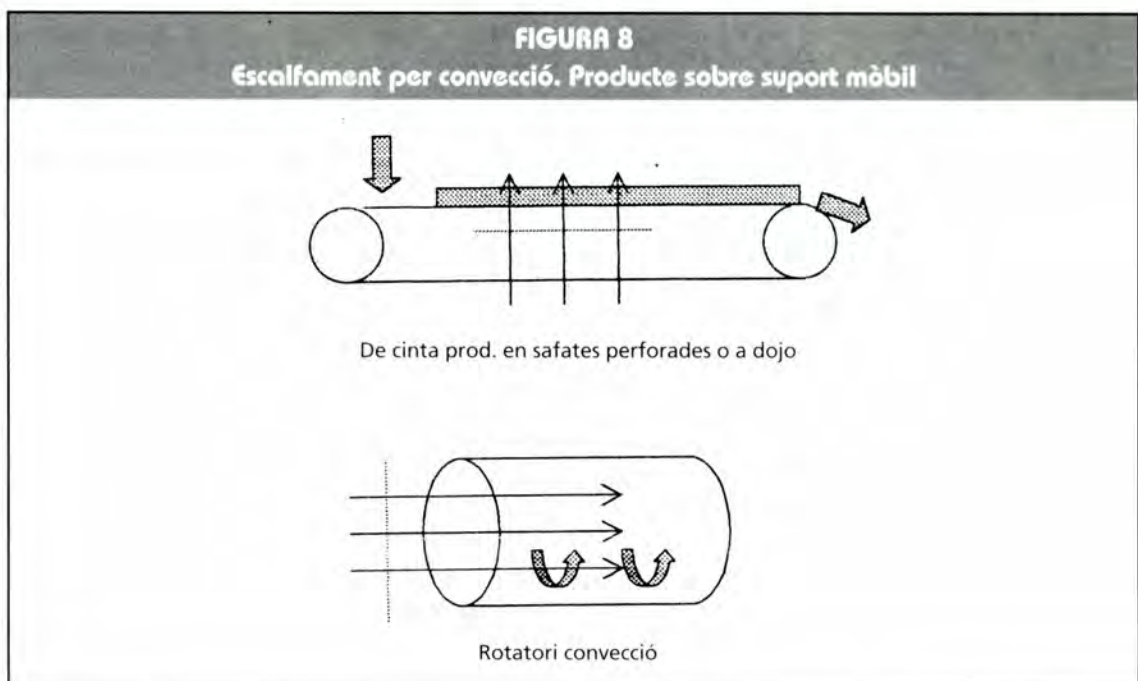
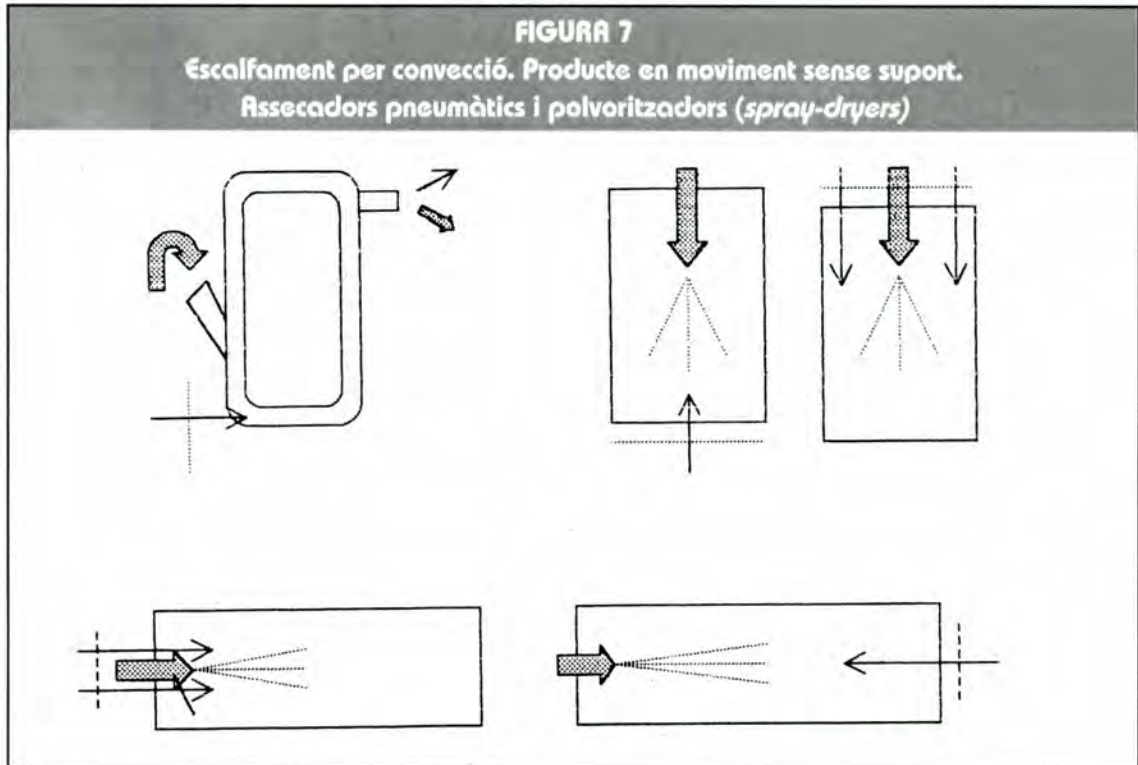
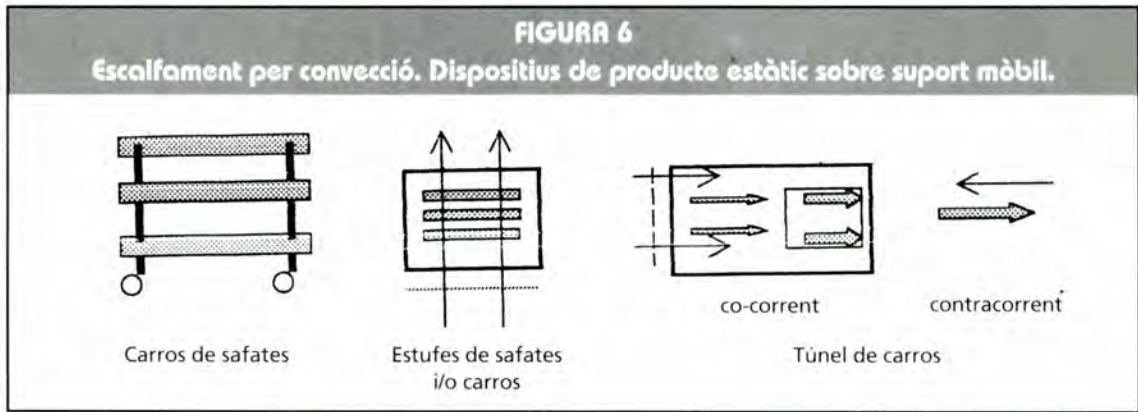
#### 3. Escalfament per conducció/radiació

A més d'alguns aparells específics, l'escalfament tant per conducció com per radiació es pot aplicar a alguns dels aparells esmentats fins ara, sempre que les exigències del procés aconsellin treballar al buit.

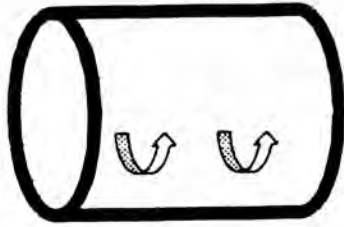
Els esquemes dels aparells es representen a les figures 4, 5, 7 i 8. A cada esquema indiquem el nom de cada aparell industrial segons el mètode d'escalfament. Als apartats posteriors ens referirem sempre a aquests mateixos esquemes.



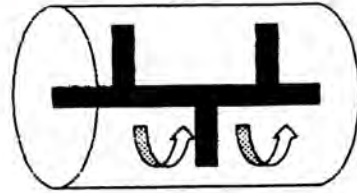




**FIGURA 9**  
Escalfament per conducció



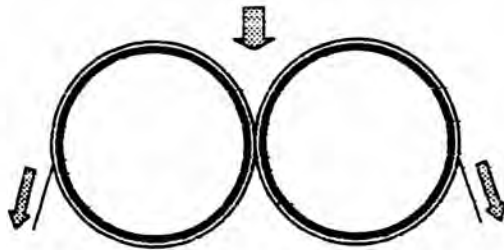
Rotatori. Calefacció camisa  
Producte en moviment sense suport



Rotatori. Calefacció pales o rosca



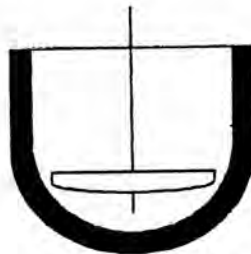
Producte estàtic  
Safates. Estufes



Producte sobre suport mòbil  
Assecador rodets (tambor o cilindres)




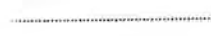

Sòlid. Pastes

Pastes, suspensions



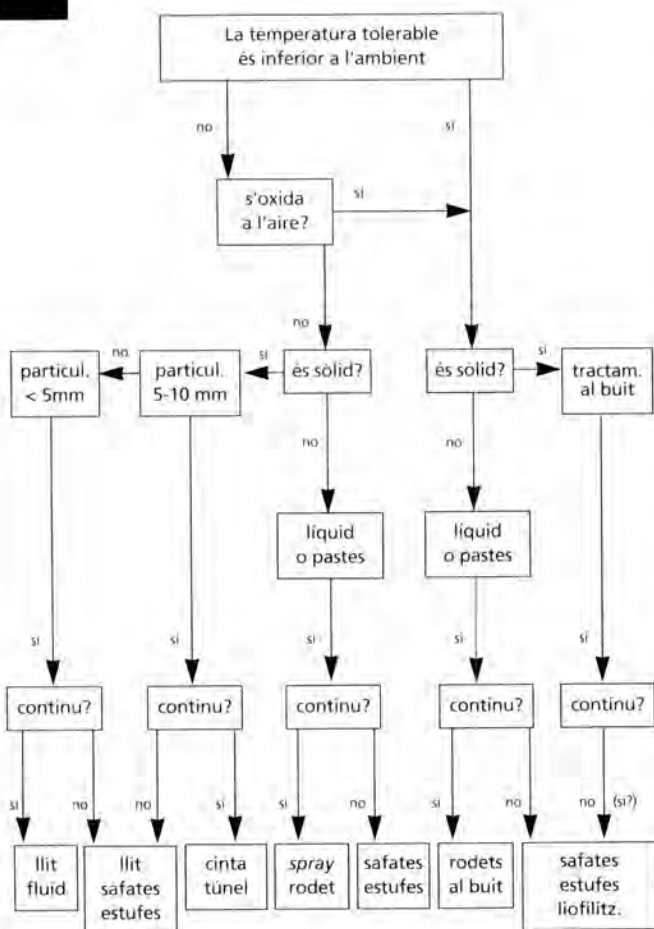
Producte en moviment  
Artesa, tanc, cubell

**Símbols (figs. 4-9)**

-  = producte estàtic
-  = producte en moviment
-  = corrent d'aire calefactor
-  = element calefactor d'aire
-  = superfície calenta (escalfament per conducció)

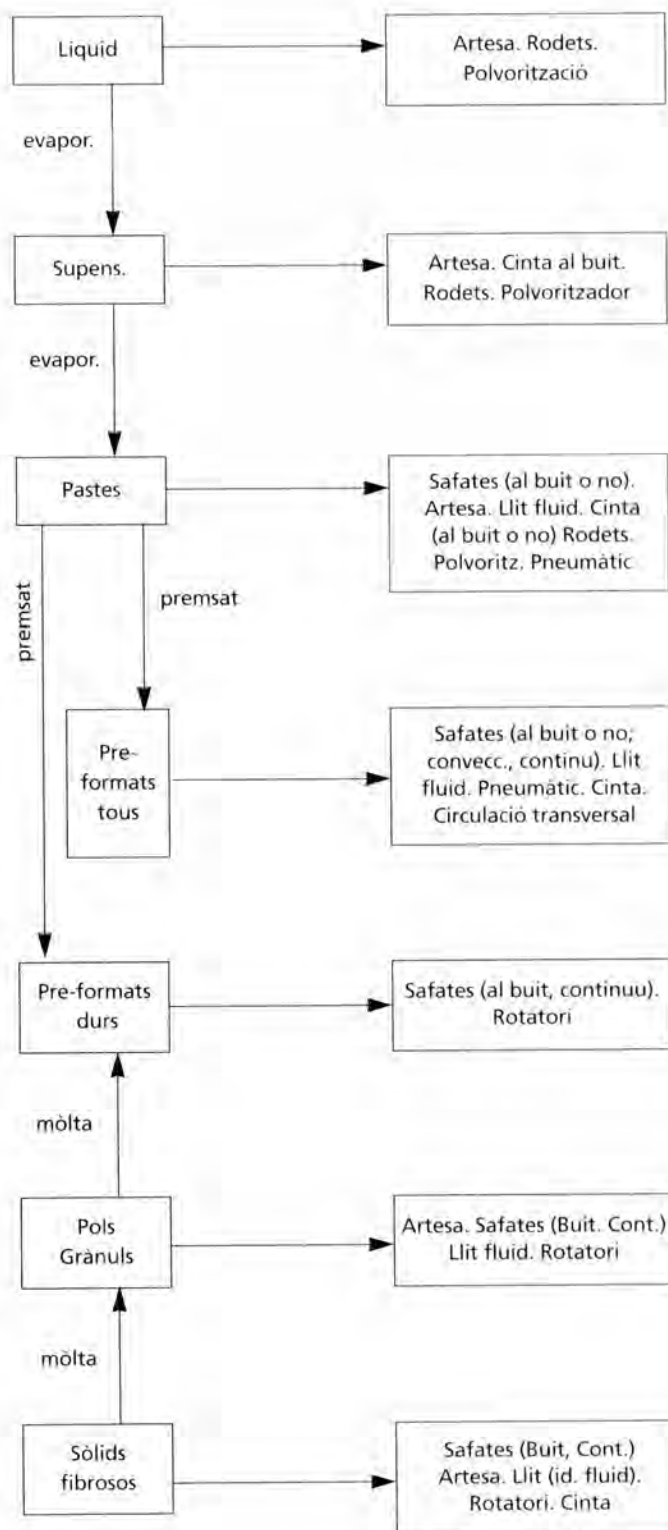
### Segons l'estabilitat tèrmica del material a assecar

Una altra classificació dels aparells d'assecatge considera com a punt de partida si el producte és termoestable. La selecció és la següent:



### Segons l'estat físic del material a assecar

Aquesta classificació té en compte el pas d'un estat físic a un altre pel propi procés d'assecatge o per altres processos intermedis addicionals que resultin convenients:



### Tipus d'assecador més utilitzat segons el producte

La taula següent, [adoptada per Sokhan-san (32)] ofereix el tipus d'assecador més utilitzat segons el producte a assecar.

PRODUCTE	TIPUS D'ASSECADOR
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aliments infantils</li> <li>• Alfals</li> <li>• Brou</li> <li>• Cafè</li> <li>• Carn:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— Extracte</li> <li>— Trossos</li> <li>— Conservant estructura</li> </ul> </li> <li>• Cereals</li> <li>• Dolços</li> <li>• Essències</li> <li>• Fruita:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— A trossos</li> <li>— Polpa</li> <li>— Puré</li> </ul> </li> <li>• Fruites seques</li> <li>• Grà</li> <li>• Hortalisses:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— A trossos</li> <li>— Conservant estructura</li> </ul> </li> <li>• Lactosa</li> <li>• Llet</li> <li>• Midó</li> <li>• Ous</li> <li>• Patates:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— A trossos</li> <li>— Escates, puré</li> </ul> </li> <li>• Pinsos herbacis</li> <li>• Sang</li> <li>• Sèrum</li> <li>• Sopes</li> <li>• Sub-productes:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— Adobs animals</li> <li>— Destil·leries, cerveseries</li> </ul> </li> <li>• Té</li> <li>• Torba</li> <li>• Vegetals</li> </ul>	<p>Rodets</p> <p>Cinta. Rotatoris</p> <p>Safates al buit</p> <p>Safates al buit. Liofilitzadors</p> <p>Safates al buit. Liofilitzadors</p> <p>Safates (al buit o no)</p> <p>Liofilitzadors</p> <p>Cinta. Sitjes</p> <p>Safates. Túnel</p> <p>Safates al buit. Liofilitzadors</p> <p>Safates. Túnel. Cinta</p> <p>Safates (al buit). Pneumàtics. Rodets. Liofilitzadors</p> <p>Rodets. Polvoritzadors. Liofilitzadors</p> <p>Cinta</p> <p>Cinta. Rotatoris</p> <p>Safates (buit o no). Túnel. Cinta. Llit. Llit fluid. (Ex: xampinyons) Estufes al buit. Liofilitzadors</p> <p>Rotatiu</p> <p>Rodets. Polvoritzadors</p> <p>Rodets. Pneumàtics</p> <p>Safates al buit. Liofilitzadors. Polvoritzadors</p> <p>Safates. Cinta</p> <p>Rodets</p> <p>Cinta. Rotatiu de sitja. Llit</p> <p>Safates al buit. Liofilitzadors</p> <p>Safates al buit. Liofilitzadors</p> <p>Safates (buit o no). Rodets</p> <p>Rotatiu</p> <p>Rodets</p> <p>Polvoritzadors</p> <p>Rotatiu</p> <p>Safates. Túnel. Cinta. Pneumàtics. Llit. Llit fluid</p> <p>Liofilitzadors (per conservar estructura)</p> <p>Igual que per vegetals</p>

### Classificació per disseny. Utilitzacions principals dels assecadors\*

A partir del disseny i de les aplicacions típiques de cada assecador, podem confeccionar encara una última taula:

TIPUS	ALIMENT.	CALEFACC.	PROCÉS	APLICACIONS
A l'aire	d, s, t	r, cv, cd	dc	Vegetals, carn, peix, etc.
Sitja	d, t	cv	dc	Cereals, farratge
Llit (kiln)	d, t	cv	dc	Vegetals, fruites, carn
Llit fluid	d, t	cv	dc	Grànuls, pols
Caixa (box)	d, t	cv	d	Tubèrculs, trossos grans
Estufa safates	p, s, t	cv, cd, r	dc, b	Vegetals, ou, ús general
Estufa carros	p, s, t	cv, cd, r	dc, c**, dcb**	Vegetals, ús general
Cinta malla	d, t***	cv, r	c, cb**	Vegetals, aviram, ús general
Cinta sòlida	d, p, t	cd, r	c, b	Vegetals, ús general
Túnel carros	d, p, t	cv, cd, r	dc, c, cb**	Vegetals, aviram, ús general
Pneumàtics	d	cv	dc, c	Prod. en pols
Rosca	d	cd	dc, c	Ús general, trossos petits
Rotatoris	d	cv, cd	dc, c, cb**	Llet, trossos petits
Rodet únic	p, s	cd	c, cb**	Sucs, patata en puré i escates
Rodet doble	p, s	cd	c, cb**	Sucs, ous, tomàquet
Atomitzador	s	cv	c	Sucs, llet, café
Liofilitzador	s	cd, r	dcb, cb**	Especialitats

**\* Abreujaments:**

*Alimentació del material:* d = a dojo; p = pastes; t = trossos, grà, grànuls; s = sol·lucions o suspensions. *Calefacció:* cd = conducció; cv = convecció; r = radiació. *Operació:* b = buit; c = contínua; cb = contínua al buit; dc = discontinua; dcb = discontinua al buit \*\* amb certes complicacions tècniques \*\*\* per trossos més grans que la llum de la malla.

#### 4. Tendències recents en l'estudi dels processos de deshidratació. Models

Si prenem com a punt de partida l'exposició dels conceptes bàsics i els prototipus d'equips més usuals presentats a l'apartat anterior, seguir pas a pas el procés d'evolució de la teoria i de l'augment en sofisticació dels aparells seria una pretensió totalment fora de lloc. Els fenòmens físics a nivell molecular (ex. interaccions de van der Waals) poden ser usats per entendre i modelar les relacions entre els factors que intervenen en la deshidratació. Els models han de basar-se (6) en fenòmens físics fonamentals, a diferència de gran part del treball fet fins ara, en el

qual aquests fenòmens s'han utilitzat per explicar relacions empíriques.

En l'actualitat, hi ha un interès creixent a establir models per al procés de deshidratació. No obstant, la «modelització» pot referir-se a dos objectius diferents:

1. Obtenir un model matemàtic dels models de comportament aplicable a determinats grups de productes amb equacions satisfactòries sobre les transferències de calor i massa i altres fenòmens implicats (retracció, etc.) en aquells productes.
2. Optimitzar els aparells de deshidratació per mitjà de representacions matemàtiques dels mecanismes de transferències i transport entre els equips i els materials a deshidratar.

## Models basats en el comportament del material

El modelat d'un problema d'assecatge segons el tipus de producte és un tema que actualment rep l'atenció de nombrosos investigadors entres els quals esmentarem (26), (28), (36), (38), etc. Una aproximació inicial per a l'establiment d'equacions d'assecatge més exactes té en compte els factors la influència dels quals s'ha anat observant progressivament. Kubota (17) enuncia diferents models, que defineix com «empírics», «d'assecatge uniforme», «de formació de crosta» i de «retracció». Al seu treball, obté diferents expressions per a les equacions «globals».

Altres aspectes a tenir en compte a l'hora d'establir models de comportament dels productes a efectes de deshidratació són segons aquests autors: a) la higroscopicitat dels productes i b) si tractem d'aglomerats o de particulats molt fins. D'una taula molt general presentada por Toei (34), seleccionem els apartats que fan referència a productes alimentaris (pàg. següent). Al mateix treball, Toei, inclou preferentment como ja hem dit anteriorment els productes alimentaris dins el grup dels materials higroscòpics. També en la modelització s'acostuma a acceptar que la majoria de material de procedència biològica es deshidrata bàsicament en el període de velocitat decreixent. Crapiste i col·laboradors (7) estudien el transport de l'aigua dins la complexa estructura cel·lular i tenen en compte el simultani encongiment del substrat, en un intent de superar la simplificació d'acceptar els productes alimentaris simplement com a medis porosos. L'anàlisi de les transferències de calor i massa que ja d'entrada tenen la limitació d'estar fonamentades majorment en hipòtesis són extraordinàriament complexes i subjectes a molts factors, la rellevància dels quals encara es desconeix. Així, dels 18 paràmetres que Toei presenta com a necessaris per modelar els mecanismes de deshidratació, després d'exposar els dos primers recondueix el seu treball a l'estudi de substrats inorgànics, ja que dels productes alimentaris, els pinsos i les seves primeres matèries, així com del paper, la polpa i la fusta (que defineix com materials higroscòpics) afirma que «tenen estructures extremadament complexes i és encara inadequat generalitzar l'anàlisi dels seus mecanismes de deshidratació». No obstant això, l'enorme interès que té un coneixement aprofundit d'aquests mecanismes per a l'enginyeria dels aliments, l'enginyeria

agrícola i la tecnologia forestal fa que actualment es duguin a terme molts estudis dirigits específicament cap a aspectes concrets d'aquests processos.

Així, per exemple, Ghiaus (12) fa una primera aproximació a un model per a la deshidratació convectiva (per un corrent d'aire paral·lel sobre un llit d'un producte alimentari en peces petites no compactades) en base a: a) la transferència de calor de l'aire al producte per convecció, i a l'interior del producte per conducció, i b) la difusió de l'aigua/vapor continguda cap a la superfície, on s'evapora i passa a l'aire. Simal (31), a la vegada que accepta el moviment de l'aigua es descriu en termes de difusió sense esbrinar quin tipus de difusió n'és majorment responsable, descriu dos tipus de model que ell compara amb el cas concret de la deshidratació de pèsols.

Tots aquests autors apliquen les lleis de Fourier a les transferències de calor i la formulació més adequada de la de Fick als fenòmens de difusió de l'aigua, vapor, i les seves barreges. Geankoplis (11) presenta una exposició detallada de la manera de procedir.

Krischer (16) fa una aproximació més general a la modelització dels processos de deshidratació mitjançant l'examen del material segons els següents supòsits estructurals i dinàmics. Estructuralment: a) considera el material format per feixos de tubs capil·lars que presenten una determinada distribució de diàmetres; b) els capil·lars estan interconnectats; c) el pas de l'aigua entre ells presenta un coeficient de resistència que s'ha de determinar experimentalment; d) l'aigua, a l'evaporació, es transfereix dels capil·lars més gruixuts als més primis i s'evapora a la superfície d'aquests últims.

Quant als factors dinàmics, Krischer té en compte: a) que la pressió de vapor de l'aigua dins el material és inferior a la pressió del vapor saturat a la mateixa temperatura; b) la deshidratació correspon a la desorbció de l'aigua i no presenta una etapa de velocitat constant (comença pel període de velocitat decreixent); c) el vapor de la força de succió capil·lar; d) la difusió que el vapor en el sistema binari vapor d'aigua/aire és unidireccional amb tots els fenòmens simultanis que això comporta (gradient de pressió, difusió molecular i flux de vapor d'aigua); e) mecanisme de transport de calor; f) la morfologia concreta del material; g) altres condicionants específics del problema, etc.

En base a dades anteriors i si s'accepten per a un procés determinades hipòtesis de

CLASSE DE MATERIAL	AIGUA		
	Estat	Força de retenció	Mecanisme de transfer.
No-higroscòpic	En capil·lars — aigua funicular <sup>1</sup> — aigua pendular <sup>2</sup>	— Succió capil·lar — Tensió superf.	Transport per gradient de pressió total Transport de vapor (difusió mol·lecular)
Higroscòpic	Adsorbida — a la superf. de microporus	— Contingut d'aigua en equilibri — Força d'adsorbció — Quantitat adsorb (= equació BET <sup>3</sup> )	— Difusió superficial de mol·lècules d'aigua ads. — Transport de vapor
Aglomerats de partícules fines	— Condensada en capil·lars — Osmòtica <sup>4</sup>	— Succió capil·lar — Succió osmòtica	— Transport per gradient de pressió total — Transport d'aigua

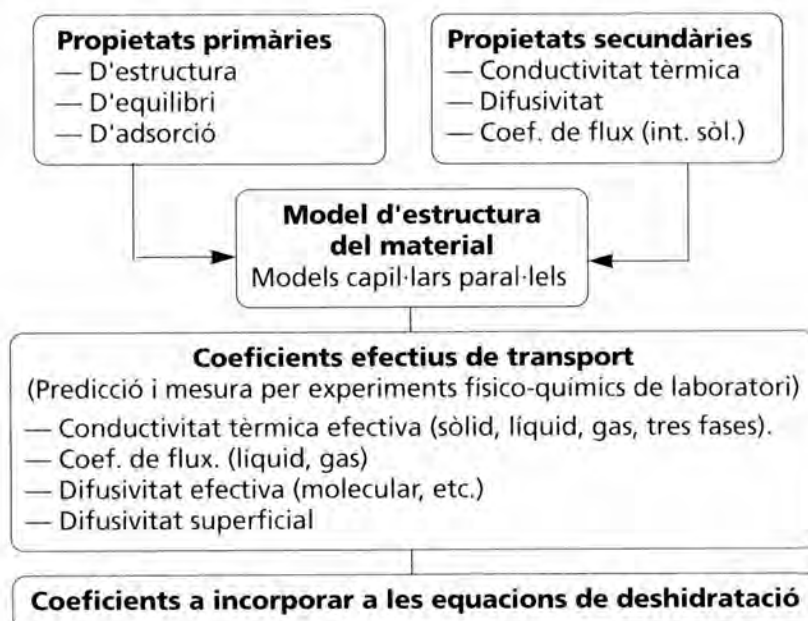
NOTES:  
<sup>1</sup> Aigua funicular (segons Toei) = que pot moure's lliurement.  
<sup>2</sup> Aigua pendular (segons Toei) = suma de l'aigua mantinguda per la tensió superficial al punt de contacte de partícules adjacents més l'aigua lliure adherida a la superfície de les partícules. En el procés de deshidratació, aquesta aigua s'accepta vaporizable *in situ* i circula per l'interior del material en forma de vapor.  
<sup>3</sup> Equació de Brunauer-Emmet-Teller (1).  
<sup>4</sup> Vàlida per al període fins que les partícules arriben a un contacte mutu. A partir d'aquest punt, l'assecatge de productes higroscòpics o no-higroscòpics seguirà segons les característiques de les partícules.  
<sup>5</sup> Quantitat evaporada = quantitat de contracció (*Skrinkage*).

simplificació, s'arriben a formular grups d'equacions que permeten configurar el programari del model corresponent (12), (23), (31).

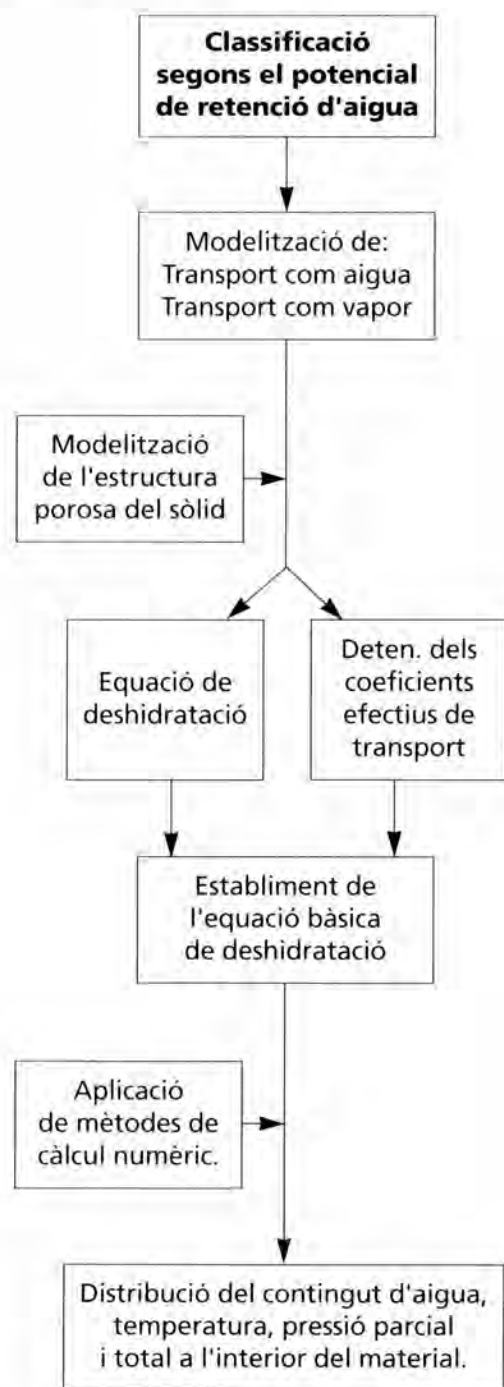
No és d'estranyar que, davant la complicada formulació teòrica dels processos de deshidratació de productes alimentaris, diversos autors hagin proposat utilitzar variables diferents a les acostumades. Així per exemple, Couture (6) en lloc de la temperatura i de la pressió en fase gasosa utilitza la massa tèrmica (o valor calorífic volumètric); la densitat mitjana de l'aire sec; el contingut

habitual d'aigua en el material de partida, i el calor diferencial de desorbció. Segons aquests autors, un canvi de variables permet obtenir models igualment aproximats però que presenten determinats avantatges de càlcul.

Malgrat tot, una dificultat comuna a tots aquests models és la d'introduir coeficients de transport *efectius* en el càlcul de les equacions de deshidratació. Als treballs de Toei (34) trobem el següent esquema de la manera de procedir.



Igualment, Toei presenta el següent diagrama que il·lustra la metodologia dels mecanismes d'assecatge:



### Models de tècniques d'assecatge

Un altre camp de gran interès és la modelització de les tècniques d'assecatge. Segons el plantejament de Reay (29), un model d'una operació d'assecatge és un instrument teòric que permet la predicció del comportament d'un determinat equip en

unes condicions operatives específiques. Aquestes condicions venen afectades per: a) les característiques pròpies dels aparells deshidratadors i b) la forma en què s'alimenta el material humit i es recupera el producte sec. En la modelització ens caldrà definir quina d'aquestes condicions prioritzem.

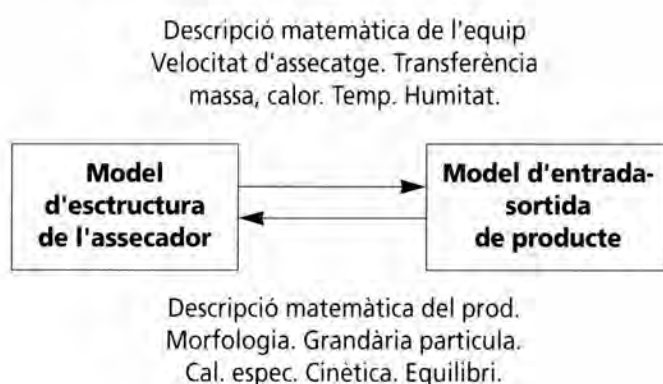
D'acord amb aquest doble objectiu, per establir les corresponents relacions matemàtiques, els models de deshidratadors es construeixen a escala petita, per tal d'obtenir els valors operatius que siguin extrapolables als aparells industrials.

També en l'actualitat molts estudis s'encaminen a l'establiment d'un tercer grup de models que podem anomenar «fonamentals».

Els models a escala petita (punt a) són els coneguts generalment com de «laboratori» o «planta pilot». El constructor del model acostuma a ser, per les seves disponibilitats mecàniques, el mateix que construeix i pretén vendre un equip industrial molt més gran. Això ens ha d'alertar i ser crítics sobre la validesa dels paràmetres i sobre la estructura matemàtica del model.

La segona modelització planteja com modificar a partir d'un equip concret, les condicions d'entrada-sortida del producte segons un programa d'investigació, per deduir-ne una expressió matemàtica generalitzadora.

En la pràctica aquests dos models estan fortament interrelacionats segons l'esquema següent:



El tercer grup de models, o models «fonamentals», són models basats en la representació matemàtica dels processos físics que tenen lloc a l'assegador, alhora que en la consideració de les característiques dels productes involucrats. Actualment per a molts processos d'assecatge hem acceptat moltes simplificacions, cosa que, com hem vist en paràgrafs



anteriors, ens ha resultat operativa en la pràctica, però dissortadament no coneixem suficientment bé els paràmetres i mecanismes físics que hi intervenen i en molts casos, tampoc no disposem de tècniques adequades per a la seva mesura. És evident que aquest tercer model, eminentment teòric, és el que té més possibilitats de futur, possibilitats que estan lligades a desenvolupaments en la medicació experimental, a nivell de laboratori, de la cinètica de l'assecatge i sobretot a models de migració de l'aigua continguda en els productes, per millorar les obligades simplificacions a les inter i extrapolacions que actualment ens veiem obligats a fer.

### *Tendències en la investigació actual*

Hall (13) puntualitza que la investigació fonamental en assecatge i deshidratació és determinar, representar i avaluar la transferència de l'aigua sota diferents condicions dinàmiques, amb diferents substrats i fonts energètiques i en un ampli ventall de condicions ambientals. Per això, proposa utilitzar models científics basats en les accions i reaccions que tenen lloc a nivell molecular i utilitzar les tecnologies més avançades per a les

mesures (microscopia electrònica, microscopia efecte túnel, etc.) i les possibilitats que ofereixen els superordinadors actuals quant a una velocitat ràpida i una capacitat elevada de càlcul.

## 5. Resum

La deshidratació de productes alimentaris és una operació els orígens de la qual es remunten a la més remota antiguitat. Des d'una realització totalment empírica, mica a mica s'hi van anar aplicant els successius desenvolupaments científics. Així aparegueren els primers intents, que han prosseguit incessantment, de quantificar el procés i aplicar-hi millores d'estalvi energètic i de mà d'obra, d'obrir el ventall d'aplicacions i de millorar la qualitat dels productes resultants. Tot plegat, ha portat a una gran sofisticació, que és en la que actualment ens trobem. Malgrat això, el procés és encara molt mal conegut i per aquest motiu els estudis es dirigeixen recentment a la confecció de models tant dels mecanismes de deshidratació com dels equips i processos que estan en ús i s'aprofiten els desenvolupaments científics que continuament es produeixen.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEGA MERCADO, H.: «Dehydration of Foods» *Food Eng Series*. Chapman & Hall Int. Thompson Pub, 1996.
- BRENNAN, J. G.; BUTTER J. R.; COWELL, N. D.; LILLY A. E. V.: *Las operaciones en la industria de los alimentos*. 3.ª Ed. Acribia, 1980.
- CHARM, S. E.: *The Fundamentals of Food Engineering*. The AVI Pub. C° Inc. Westport. USA.
- COOK E. M.; DUMONT H. D. *Procces Drying Practice*. Mc Graw Hill N.Y. 1991.
- COPLEY, M.; VAN ARDSEL W. *Food Dehydration*. Westport: The AVI Pub C° Inc., vols I i II., 1963.
- COUTURE, F.; FABRIE P.; PUIGGALI J. R.: *Drying Tech*. 13 (3) 519-550. 1995.
- CRAPISTE, G. H.; WHITAKER S.; ROTSEIN E.: *Drying* 85. Nova York. Hemisphere Pub. Corp./ Springer Verlag, 1985.
- DESROSIER N. W.: *The Technology of Food Preservation*. Westport: The AVI Pub C° Inc., 1959.

- EARLE, R. L.: *La ingeniería de los alimentos*. Ed. Acibia, 1968.
- FELLOWS, P. *Tecnología del procesamiento de alimentos*. Ed. Acibia, 1994.
- GEANKOPLIS C. J.: *Transport Processes. Momentum, Heat and Mass. A & B*, 1983.
- GHIAUS, A. G. MARGARIS, D. P.; PAPANIKAS D. G. *J. Food Sci.* 62 (6) 1154--1157, 1997.
- HALL, C. W. IDS '86 Lecture. Kyoto, 1986.
- HELDMAN D. R. SING, R. P.: *Food Process Engineering*. Westport: 2ª ed. The AVI Pub Co Inc., 1981
- KIRK-OTHMER: *Encyclopedia of Chemical Technology*. 3ª ed. Wiley, 1983.
- KRISCHER, O. Z.: *Ver. Deut. Ing.* 82, 373, 1938.
- KUBOTA, K.; SUZUKI, K.; ESAKA M.; ARAKI H.; NAGAI M.: *Drying '85*, 1985
- MACRAE, R. (ED.) *Encyclopedia of Food technology*. Nova York. Academy Press, 1990.
- MAFART, P.: *Ingeniería Industrial Alimentaria*. Trad. Ed. Acibia, 1994.
- MCCABE W. L.; SMITH J. C.: *Units Operations of Chemical Engineering*. 2ª ed. Nova York: McGraw Hill Co., 1967.
- MENON, A. S., MUJUMDAR, A. S.: *Drying of solids*. Cap. 1 a ref. 22.
- MUJUMDAR, A. S.: *Handbook of Industrial Drying*. Nova York. M. Drekker, 1987.
- NAON, B.; SAIX C.; BERTHOMIEU, G.; BENET, J. C.: *Drying Tech.* 13 (3) 571-583, 1995.
- NONHEBEL G.; MOSS, A. A. H.: *El secado de sólidos en la industria*. Reverté, 1979.
- OKOS, M.R.; NARSIMAN, G.; WEITNAVER, A.C.: *Food dehydration* a HELDMANN D. R. LUND, D. B.: *Handbook of Food Engineering*. Nova York: Marcel Drekker, 1992.
- PERRE P.; DEGIOVANNI, A.: *Int. J. Heat & Mass Transfer*, 33 (11) 2463-2478, 1990.
- PERRY, J.H. (ED.) *Chemical Engineers Handbook*. 6ª ed. Mc Graw-Hill, 1984.
- PUIGGALI, J.R. QUINTARD, M. *Advances in Drying* 5, 131-147, 1992.
- REAY D.: *Drying '85*. Nova York: Hemisphere/Springer Verlag , 1985.
- SAKAI, N.; HAYAKAWA, K. I.: *J. Food Sci.* 58 (6) 1335-1339 (1993).
- SIMAL, S.; MULET, A.; TARRAZO, J. ROSSELLÓ, C.: *Food Chem.* 55 (2) 121-128, 1996.
- SOKHANSAJ, S.; HAYAS D. S.: *Drying of Foodstuffs*. cap. 16 a ref. 22.
- SPIES W. E. L.; SHUBERT, H.: *Engineering and Food*. Elsevier, 1990.
- TOEI, R.: *Drying Tech.* 14 (1) 7-194, 1996.
- TOLEDO, R. T.: *Fundamentals of Food Process of Engineering*. 2 ed.. Reinhold, 1991.
- TURNER, I. W.; ILLIE M.: *Int. Comm. Heat & Mass Transfer* 17, 39-48, 1990.
- ULLMANN (ed.): *Encyclopaedia of Industrial Chemistry*. 5ª Ed. anglesa, vol. B2 «Unit operations», sec. 4, «Drying of solid materials».
- WHITAKER, S.; CHOU W. T. H.: *Drying Tech.* 1(1) 3-33, (1983-1984).