

Ciència i xocolata

Claudi Mans, M. Àngels Pérez Samper, Laura Bayés,
Montserrat Font, Joan Permanyer, Francisco Gil,
Josep Perelló, Ramon M. Masalles

Pròleg de Pau Arenós

Sabies que la xocolata era la beguda dels déus astequès? O que a Catalunya es consumeixen més de tres quilos de xocolata per persona i any? Sabies que la xocolata no condueix el corrent elèctric i que, quan en mengem, viatgem sensorialment pels tres estats de la matèria? La xocolata agrada al 90% de la població i en aquest llibre en descobriràs els secrets.

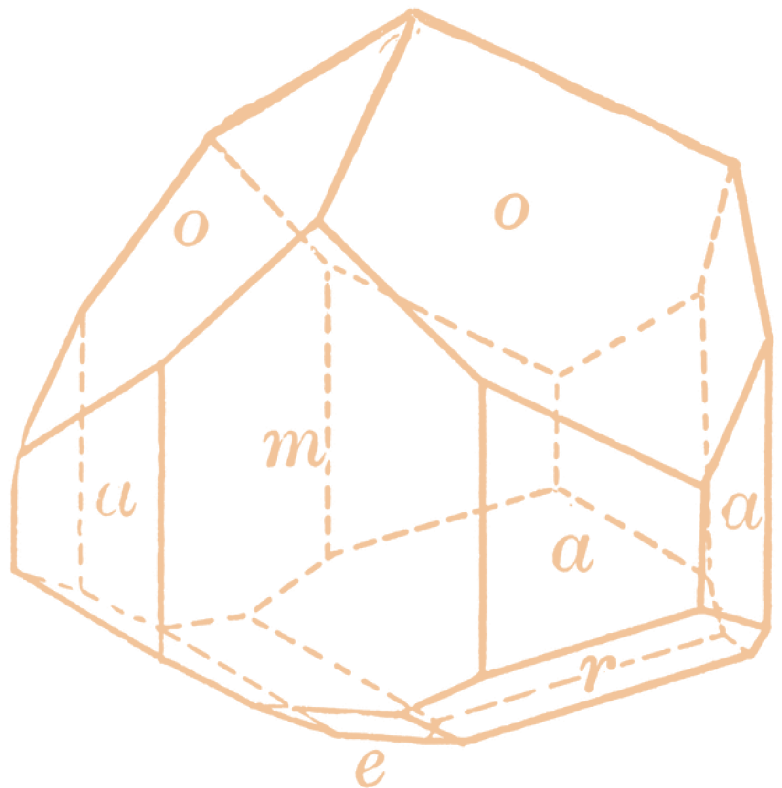
Sumari

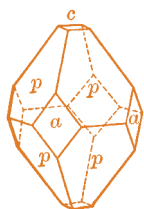
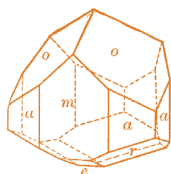
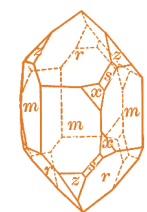
Pròleg	9
Xocolatologia experimental <i>Claudi Mans i Teixidó</i>	13
La xocolata: història d'una passió <i>M. Àngels Pérez Samper</i>	31
Sorprenentment, mengem cristalls! <i>Laura Bayés-García</i>	47
La comercialització del cacau i de la xocolata <i>Montserrat Font Vilalta</i>	65
La tecnologia dels derivats del cacau i la xocolata <i>Joan Permanyer Fàbregas</i>	87
Màrqueting i xocolata <i>Francisco Gil Carmona</i>	101
La xocolata: matèria sòlida, líquida o gasosa? <i>Josep Perelló</i>	115
El cacau, un regal dels déus <i>Ramon M. Masalles i Saumell</i>	129
Els autors	143



SORPRENENTMENT, MENGEM CRISTALLS!

Laura Bayés-García





Es coneixen molts tipus de xocolata i es pot presentar de formes molt diverses, però, en tots i cadascun dels casos, el seu aspecte esdevé sempre atractiu, temptador i llamener. La lluentor i la fina textura que caracteritzen aquest dolç, i ahora aliment, s'aconsegueixen, en part, gràcies a la cristal·lografia, és a dir, la ciència que estudia els cristalls. L'estructura de la xocolata inclou cristalls, el tractament dels quals esdevé una eina clau perquè obtingui l'aspecte desitjat i es fongui dins la boca. No obstant això, la xocolata no és l'únic aliment que conté cristalls. A la margarina, la sal, el pernil, el gelat i la closca d'un ou, els cristalls desenvolupen un paper crucial pel que fa a les propietats que al consumidor li agraden i n'espera. D'altra banda, altres productes que ingerim quotidianament, com la majoria de fàrmacs, contenen cristalls i també en aquest cas la forma cristal·lina en qüestió és la que en determinarà les propietats i, en definitiva, l'efecte terapèutic que desenvoluparan dins el nostre organisme.

Conceptes bàsics: cristalls i polimorfs

La matèria és composta per àtoms, els quals es poden organitzar per formar molècules. A grans trets, es pot definir un cristall com un sòlid ordenat. En altres paraules, esdevé el resultat de la repetició periòdica, en les tres direccions de l'espai, d'una agrupació d'àtoms o molècules. No es pot confondre, però, el concepte de cristall amb el de vidre. A diferència d'un cristall, el vidre és un sòlid amorf, on no existeix el mateix ordre i periodicitat en la posició dels seus àtoms o molècules. Un exemple clar de repetició periòdica en dues dimensions és el disseny de les rajoles del passeig de Gràcia de Barcelona, on es representen motius naturals (algues, meduses i altres elements del fons marí) que es van repetint al llarg del passeig i creen una simetria hexagonal. En un cristall passa el mateix: els àtoms i/o les molècu-

les s'ordenen i s'empaqueten a l'espai, i aquesta ordenació es repeteix. Tot i que per al cas del passeig de Gràcia la periodicitat té lloc en dues direccions, al cristall generalment ho fa en tres.

Això no obstant, dins el cristall, els àtoms i/o les molècules es poden ordenar o organitzar de maneres diferents (en funció de la temperatura, la pressió, etc.) i donar com a resultat diverses *formes polimòrfiques* o *polimorfs* (del grec *poli*, moltes; *morphos*, formes) que tindran propietats diferents entre si. Un exemple clàssic de *polimorfisme* és el cas del grafit i el diamant. Tots dos estan constituïts per àtoms de carboni, però la seva disposició en l'espai, és a dir, la seva estructura cristal·lina, és totalment diferent. Al diamant, els àtoms de carboni s'estructuren de forma molt compacta, on cada un es troba fortament enllaçat a quatre més, els quals defineixen els vèrtexs d'un tetràedre. Altra-ment, al grafit, els àtoms de carboni s'organitzen en capes, amb enllaços forts dins de cada capa, però febles entre capes. Així mateix, és ben sabut que ambdós tenen propietats totalment diferents, no tan sols pel que fa al seu preu. Mentre que el diamant esdevé brillant, dur i aïllant elèctric, el grafit té una brillantor semimetàl·lica, és tou i conductor de l'electricitat. Tot i que no tots els materials cristal·lins presenten polimorfisme, existeixen casos en què cal que aquest fenomen estigui del tot controlat, com és el cas dels fàrmacs. Una cristal·lització errònia que provoqui l'obtenció d'un polimorf no desitjat pot conduir a conseqüències tràgiques per a la salut.

De cristalls, n'hi ha de molts tipus: grans, petits i amb morfologies molt variades. La ciència que els estudia és la cristal·lografia, que és, per definició, interdisciplinària, ja que es relaciona estretament amb altres ciències com la mineralogia, la química, la física, la biologia, la biomedicina, les matemàtiques... La major part de minerals són cristal·lins, com molts productes químics, biològics i biomèdics. La

física ens permet estudiar i comprendre les propietats dels cristalls i les matemàtiques ens donen les eines per poder-ho dur a terme.

Què mengem quan mengem xocolata?

Quan parlem de xocolata, parlem d'una mescla de mantega de cacau, sucre i altres additius, que variaran segons el tipus de xocolata que es vulgui obtenir. La xocolata negra és constituïda únicament per pasta de cacau i sucre. La pasta de cacau (suspensió de partícules de cacau en mantega de cacau) s'obté durant el procés d'elaboració de productes derivats del cacau (és a dir, el cacau en pols i la mantega de cacau) i esdevé el resultat de la neteja, la torrada, la trencada, l'espellofada i la mòlta de les faves del cacau. Per contra, la xocolata amb llet, a més del sucre i la pasta de cacau (en aquest cas en menor proporció que a la xocolata negra), també conté mantega de cacau i llet en pols. D'altra banda, la xocolata blanca no conté pasta de cacau i la seva composició es limita a mantega de cacau, sucre i llet en pols.

En tot cas, en qualsevol xocolata es poden distingir uns components no greixosos, que li aporten l'aroma i el sabor, d'uns altres de greixosos (la mantega de cacau), que en determinaran l'aspecte i la textura. En aquest últim cas és on els cristalls tenen un paper crucial a l'hora d'obtenir la xocolata desitjada, pel que fa a les seves propietats físiques de textura, lluentor i duresa.

La fracció greixosa de la xocolata o de la mantega de cacau consisteix en una suspensió de partícules sòlides (cristalls) de greix en oli (greix líquid). Pel que fa a la seva composició, és constituïda principalment per triglicèrids, al·trament anomenats triacilglicerols, els quals també són els components majoritaris dels altres olis i greixos alimentaris. Les molècules dels triglicèrids esdevenen força complexes i n'hi ha de molts tipus diferents. Consisteixen en una



estructura de glicerol esterificat amb tres àcids grassos (vegeu la figura 1). La gran diversitat de triglicèrids existent és deguda a l'enorme varietat d'àcids grassos disponible. En altres paraules, un triglicèrid es diferencia dels altres pel tipus d'àcids grassos (àcid oleic, àcid palmític, àcid linoleic, àcid esteàric...) que conté i per la posició que ocupen en l'estructura del glicerol.

La nomenclatura que s'empra per designar i identificar els triglicèrids es basa en la seqüència d'àcids grassos que els formen. Per exemple, el triglicèrid POS és el que conté àcid palmític (P, àcid gras saturat, o sense dobles enllaços, i amb setze àtoms de carboni), àcid oleic (O, amb una insaturació o doble enllaç a la cadena, i amb divuit àtoms de carboni) i àcid esteàric (S, àcid gras saturat i amb divuit



Figura 1. Molècula de triglicèrid. Els tres àcids grassos es troben esterificats a l'estructura del glicerol.

àtoms de carboni). Entre el 85 i el 95 % de la composició de la mantega de cacau és constituïda per una mescla de tres triglicèrids: el POS, el SOS (amb àcid esteàric, oleic i esteàric) i el POP (amb palmític, oleic i palmític).

La xocolata desitjada

Les característiques que tots esperem d'una bona xocolata són diverses. Ha de ser lluent, presentar una certa duresa, ha de tenir una textura fina (les rugositats poden resultar desagradables), ha de fondre's a la boca i donar una sensació refrescant i cal que tingui una vida útil adequada. Aquestes propietats són donades pels cristalls presents a la mantega de cacau, i la indústria xocolatera es preocupa d'obtenir la xocolata que compleixi els requisits necessaris cristal·litzant-la de la manera adequada, és a dir, obtenint el tipus de cristalls idoni per a aquest propòsit.

La mantega de cacau presenta polimorfisme i a cada polimorf, dels sis existents, les molècules de triglicèrids es troben agrupades o empaquetades de manera diferent, fet que, en cada cas, aportarà unes propietats concretes a la xocolata. El paràmetre més rellevant que diferencia cada una de les sis formes de la mantega de cacau és la seva temperatura de fusió. La taula 1 mostra les temperatures de fusió per als sis polimorfs, els quals es troben anomenats amb dues nomenclatures diferents (tot i que la més emprada és la que utilitza números romans). De totes elles, la forma polimòrfica que permet obtenir la xocolata desitjada és la forma V. Això és degut a la seva idònia densitat i al fet que el seu punt de fusió (33 °C) és lleugerament inferior a la nostra temperatura corporal (36-37 °C). D'aquesta manera, quan ens introduïm una peça de xocolata a la boca, disposats a menjar-la, es fon ràpidament i ens dona una sensació refrescant. Aquesta sensació refrescant és un fenomen propi de la fusió en si mateixa, ja que perquè un material es fon-

gui necessita prendre energia o calor del sistema que l'envolta (és un fenomen *endotèrmic*). Si la xocolata ens «roba» calor de la nostra boca, ens la refredarà lleugerament i ens aportarà aquesta sensació de frescor que ens agrada tant.

Polimorf	I (γ)	II (α)	III (β')	IV (β')	V (β)	VI (β)
T fusió (°C)	17°	23°	25°	27°	33°	36°



Taula 1. Temperatures de fusió de les formes polimòrfiques conegudes de la mantega de cacau.

Es poden obtenir cristalls només refredant la mantega de cacau i, per a obtenir-ne dels diferents polimorfs, només cal refredar més o menys ràpidament. Si es refreda un triglicèrid o un greix més complex a diferents velocitats, la cristallització pot estar dirigida a l'obtenció de diferents polimorfs (Bayés-García *et al.*, 2011). És a dir, si partim de la mantega de cacau en estat fos i la refredem ràpidament (a uns 10 °C/minut o a velocitats superiors), els cristalls que obtindrem seran de les formes amb un punt de fusió més baix (formes I i II). En canvi, si la mantega de cacau es refreda més lentament (a 2 °C/minut aproximadament), els polimorfs que cristal·litzaran seran de punt de fusió més elevat (formes III i IV). Com que la forma desitjada de la mantega de cacau és la forma V, per obtenir-la amb un simple refredament caldria, doncs, utilitzar una velocitat de refredament encara inferior (probablement inferior als 0,01 °C/minut). Atesa

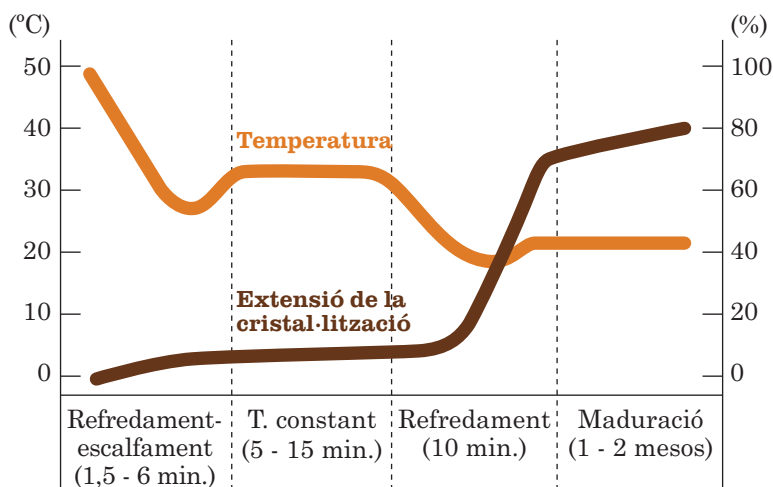


Figura 2. Evolució en la formació de cristalls durant el procés de temperament de la xocolata.

la dificultat a l'hora de reproduir una velocitat de refredament tan reduïda, industrialment s'utilitza un altre mètode per obtenir i *estabilitzar* la forma V de la mantega de cacau, és a dir, obtenir-ne els cristalls i impedir que es transformi o canviï en un altre polimorf no desitjat. Aquest procés rep el nom de «procés de temperament de la xocolata».

Procés de temperament de la xocolata

La funció del procés de temperament consisteix a aplicar, amb una agitació constant, un programa de temperatura molt concret a la xocolata, abans del seu emmotllament. El procés es constitueix de diverses etapes: (i) Fusió: escalfament de la xocolata fins a una temperatura de 45 °C o superior (fusió completa); (ii) Refredament: fins a 27 °C; (iii) Reescalfament: fins a 32 °C; (iv) Retenció i maduració.

La figura 2 mostra un gràfic on es pot apreciar l'evolució de la formació de cristalls segons la temperatura, durant el procés de temperament. A mesura que avança el procés,

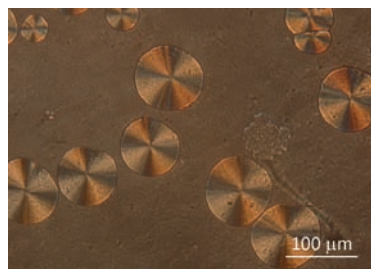
la quantitat de cristalls obtinguts augmenta lentament des del primer refredament. No obstant això, l'increment més important en la formació de cristalls resideix en les últimes etapes del temperament (refredament i maduració). Mitjançant aquest programa de variació de temperatura, s'aconsegueix estabilitzar el polimorf V de la mantega de cacau, de manera que la xocolata tindrà una textura fina i un aspecte brillant.

Una xocolata no desitjada: el fenomen del Fat Bloom

Molt sovint, sobretot a l'estiu, és freqüent l'aparició d'una capa blanquinosa, i una mica rugosa, a la superfície de les rajoles de xocolata i els bombons. Qui no ha observat aquest fenomen en treure la xocolata de la nevera? No es tracta en absolut de la presència de fongs. De fet, la xocolata és totalment comestible, però la seva textura pot resultar, en certa manera, desagradable.

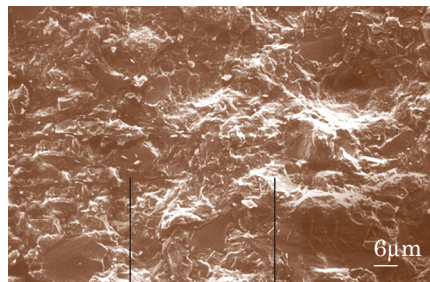
Aquest fenomen rep el nom de Fat Bloom (emanació de greix) i és degut a una cristallització no esperada que té lloc quan la xocolata ha estat emmagatzemada sota condicions no adequades o quan ha patit fluctuacions de temperatura perjudicials, com ara a l'estiu (per exemple, en col·locar i treure la xocolata de la nevera successives vegades). De fet, el Fat Bloom es pot provocar aplicant cicles d'escalfament i refredament (entre 19 i 35 °C) a la xocolata, i el gruix de la capa blanquinosa augmentarà en incrementar el nombre de cicles aplicats.

Pel que fa a la seva microestructura, la xocolata és un medi particular format per un acoblament de sòlids de cacau, cristalls de sucre, llet en pols, cristalls de greix (triglicèrids), oli (triglicèrids en estat líquid), etc. Si la xocolata se sotmet a una temperatura relativament elevada (com l'es-



Imatge amb microscòpia tèrmica de cristalls amb triglicèrids de xocolata.

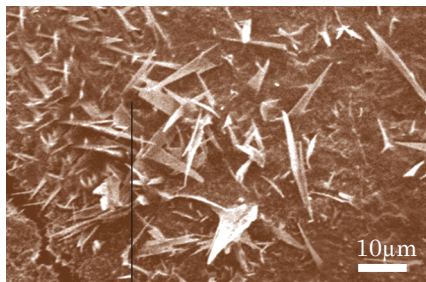
Estat normal



Sucre

**Cristalls de mantega
de cacau**

Estat Fat Bloom



**Cristal·lització
no desitjada**

Figura 3. Imatges de microscòpia electrònica de rastreig (SEM) de la microestructura d'una xocolata en estat normal i una altra amb Fat Bloom.

tival), alguns dels cristalls de triglicèrid arriben a fondre i augmenta la quantitat d'oli (triglicèrids líquids) en la microestructura de la xocolata. Aquesta fracció líquida més important arriba a pujar, per capil·laritat, a través dels canals i porus formats pels cristalls de sucre, sòlids de cacau i cristalls de triglicèrids que no s'han fos, fins a arribar a la superfície. En refredar posteriorment la xocolata (per exemple, col·locant-la a la nevera), aquest oli que s'ha dipositat a la superfície arriba a cristal·litzar amb el temps, però en una forma no desitjada. Tot i que la forma esperada de la xocolata és la forma V, quan el fenomen del Fat Bloom té lloc, els nous cristalls formats pertanyen a la forma VI, que provoca un canvi en les propietats físiques de la xocolata.

La forma polimòrfica VI té una temperatura de fusió de 36 °C, mentre que la forma V fon a 33 °C (vegeu la taula 1). Aquest fet comporta que la forma VI recentment obtinguda a la superfície de la xocolata no fondrà tan fàcilment com la forma V, en el moment en què el consumidor s'introdueixi la peça de xocolata a la boca. D'altra banda, el polimorf V

disposava d'una superfície llisa, mentre que la del VI esdevé més aviat rugosa. Aquest segon fenomen es deu a la diferent morfologia cristal·lina d'ambdues formes. A la figura 3 es poden observar dues imatges obtingudes mitjançant microscòpia electrònica que mostren l'espectacular morfologia acicular (agulles) dels cristalls de la forma VI, la qual es pot comparar amb la morfologia més arrodonida dels cristalls de la forma V. D'aquesta manera, la textura perceptible en menjar una peça de xocolata amb Fat Bloom pot resultar diferent i, fins i tot, desagradable si es compara amb una xocolata en què tots els cristalls de triglicèrids es troben en la forma V.

Com reduir el Fat Bloom?

Molts científics arreu del món han estat estudiant i encara estudien en profunditat les propietats físiques de la xocolata (per a la formulació de nous productes, noves textures, optimització de processos, etc.). Però també es fan molts esforços per intentar evitar, de manera eficaç, el fenomen del Fat Bloom. L'aparició d'aquesta indesitjada superfície blanquinosa, constituïda pel polimorf VI, provoca la disminució de la venda de productes de xocolata durant la temporada d'estiu; fins i tot algunes marques comercials arriben a retirar els seus productes del mercat durant aquesta època.

Un exemple és el disseny de greixos antibloom (Smith *et al.*, 2008). Aquests greixos poden compondre's de mescles de diferents olis de palma i de *palmiste* hidrogenats, fraccionats i interesterificats (han patit reaccions químiques). Els olis de palma i de *palmiste* s'obtenen de la polpa i de la llavor del fruit de la palma *Elaeis guineensis*, respectivament. Aquests greixos antibloom s'addicionen a la mantega de cacau i actuen reduint la transformació polimòrfica de la forma V a la forma VI.