

Críteris per a la selecció de silicones en l'elaboració de motlles. Propietats físiques, aplicacions i marques comercials.

Criteria for the selection of silicones in mould production. Physical properties, applications and commercial brands.

Xènia Aymerich / xenia.aymerich@icp.cat

Titulada Superior en Conservació i Restauració de Béns Culturals en l'especialitat de Béns Arqueològics. Cap de l'Àrea de Preparació i Conservació de l'Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont (ICP). Professora vinculada a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

Postgraduate degree in the Conservation and Restoration of Cultural Heritage specialising in Archaeological Heritage. Head of the Preparation and Conservation Department of the Miquel Crusafont Catalan Institute of Palaeontology (ICP). Lecturer at the Autonomous University of Barcelona (UAB).

Almudena S. Yagüe / almudena.yague@icp.cat

Llicenciada en Belles Arts en l'especialitat de Conservació i Restauració de Béns Culturals. Màster en Comissariat de Nous Mitjans. Tècnica de l'Àrea de Preparació i Conservació de l'Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont (ICP).

Graduate in Fine Arts specialising in the Conservation and Restoration of Cultural Heritage. Master in New Media Curating. Technician in the Preparation and Conservation Department of the Miquel Crusafont Catalan Institute of Palaeontology (ICP).

Alba García / alba0013@hotmail.com

Graduada en Conservació i Restauració de Béns Culturals. Màster en Direcció de Projectes de Conservació-Restauració.

Graduate in the Conservation and Restoration of Cultural Heritage. Master in the Management of Conservation and Restoration Projects.

La silicona ha demostrat ser un material extremadament eficient per a la realització de motlles en l'àmbit de la conservació i restauració de béns culturals. No obstant això, la gran diversitat de tipus i marques comercials disponibles, juntament amb l'absència de publicacions actualitzades sobre el seu ús, dificulten la seva elecció en un projecte concret. Aquest article recopila les propietats físiques d'aquest elastòmer, algunes marques comercials i les seves principals aplicacions en l'àmbit de la paleontologia.

Silicone has proven to be an extremely efficient material for making moulds in the field of conservation and restoration of cultural heritage. However, the large variety of types and commercial brands available, combined with the lack of up-to-date publications on their use, make it difficult to choose the correct silicone for a particular project. This article summarises the physical properties of this elastomer, some commercial brands and their main applications in the field of palaeontology.

Paraules clau: silicona, motlle, policondensació, poliaddició, paleontologia.

Keywords: silicone, mould, polycondensation, polyaddition, palaeontology.



[PORTADA] Motlle d'una vèrtebra de notosaure elaborat amb silicona de policondensació (Fotografia: Xènia Aymerich / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

INTRODUCCIÓ

Els motlles i rèpliques com a mètode de reproducció d'elements originals són molt utilitzats en l'àmbit de la conservació de patrimoni paleontològic, ja que eviten posar en risc l'espècimen original. Les rèpliques permeten al personal investigador estudiar una còpia exacta del fòssil sense els perills que suposa la seva manipulació o trasllat a altres institucions. A més a més, les rèpliques són un element molt valuós des del punt de vista didàctic (per exemple, per al seu ús en tallers infantils o activitats familiars) i fins i tot es poden incloure en exposicions quan les condicions d'exhibició no garanteixen la conservació dels originals.

Les primeres evidències conegudes de l'ús de rèpliques en paleontologia es remunten pràcticament a l'inici de la mateixa disciplina, el segle XVIII. Al llarg de la història s'han usat diferents materials per a la realització de motlles, com el làtex, l'alginat o l'escaiola. No obstant això, en l'actualitat el material més utilitzat és la silicona a causa, principalment, de les seves propietats elàstiques i de la seva llarga vida útil, encara que les seves aplicacions no han estat protocol·litzades per al seu ús en béns culturals.

La silicona és un polímer sintètic i inorgànic derivat del polisiloxà; està constituït per una sèrie d'àtoms de silici i oxigen alternats. La silicona és inerta i estable, la qual cosa la fa útil en una gran varietat d'aplicacions industrials com a lubricants, adhesius, motlles i en aplicacions mèdiques i quirúrgiques, com a pròtesis valvulars, cardíques i implants de mames.

L'elaboració de motlles en el camp de la conservació-restauració ja és *per se* un procés complex; actualment, un element clau per obtenir resultats òptims és l'elecció d'una silicona adequada. La dificultat d'aquesta elecció obeeix bàsicament a dos motius: d'una banda, a l'escassetat d'articles de referència sobre la seva aplicació en la reproducció de fòssils; per l'altra, a l'existència d'un ampli ventall de silicones comercials en el mercat que, a més a més, està en constant evolució. De manera recurrent sorgeixen noves variants que, sovint, provenen del desenvolupament de nous productes per a camps molt diferents i allunyats de la conservació de béns culturals, però les propietats dels quals poden resultar interessants en aquest àmbit.

L'objectiu principal d'aquest article és facilitar l'elecció de la silicona adequada per a cada cas i, d'aquesta manera, obtenir un motlle que compleixi amb els objectius previstos. Per a tal fi, aquest article recopila els diferents tipus de silicones existents, detalla les seves propietats físiques i elabora un compendi de marques comercials¹ amb les seves aplicacions òptimes en el camp de la paleontologia.

TIPUS DE SILICONES

Existeixen dos grans grups de silicones: les silicones monocomponents i les bicomponents. Les **silicones monocomponents**, o RTV-1,² són aquelles que polimeritzen³ mitjançant la reacció amb la humitat atmosfèrica; les seves principals aplicacions són com a adhesiu o material de segellament. A més a més, en les

¹ La relació de marques comercials incloses en aquest article no és exhaustiva. La seva selecció s'ha realitzat sobre la base de l'ús habitual que realitza el personal de diferents centres de recerca en el camp de la paleontologia i els seus resultats han estat contrastats. Cap de les marques comercials esmentades ha contribuït de cap manera a aquest treball.

² RTV és l'acrònim de *Room Temperature Vulcanizing*.

³ La polimerització és un procés químic pel qual monòmers (compostos de baix pes molecular) s'agrupen químicament entre si, donant lloc a una molècula de gran pes, anomenada polímer.

silicones bicomponents o RTV-2 la polimerització es produeix mitjançant la reacció amb un catalitzador. El resultat d'aquesta polimerització és una goma flexible, molt semblant a un cautxú, i antiadherent (excepte sobre si mateixa); estan especialment indicades per a la realització de motlles per la qual cosa són objecte d'anàlisi d'aquest article.

Segons la seva composició química, les silicones bicomponents es divideixen en dues famílies, les silicones de policondensació i les de poliaddició. Aquests dos tipus tenen característiques diferents i no són compatibles entre si.

Les **silicones de policondensació** o condensació (base estany) es denominen així perquè, durant el procés de polimerització, s'allibera etanol com a subproducte de condensació. Aquestes silicones ofereixen una bona qualitat de reproducció, una excel·lent recuperació de la deformació, resistència a l'esquinçament i són relativament econòmiques. No obstant això, en alliberar un subproducte, tenen una estabilitat dimensional baixa i una contracció lineal de $\pm 1\%$, és a dir, una vegada polimeritzades redueixen gradualment aquest percentatge de la seva grandària. Generalment, tot i que hi ha excepcions, la seva proporció de mescla és el 95% de base més 5% de catalitzador.

D'altra banda, les **silicones de poliaddició** o addició (base platí) durant el procés de polimerització no produeixen un subproducte com a tal, només existeix l'alliberament d'hidrogen, que no afecta la contracció del material. Aquestes silicones ofereixen una alta recuperació de la deformació i una definició i estabilitat dimensional excel·lents. Tenen una contracció lineal més baixa que les silicones de policondensació ($\pm 0,3\%$), gran elasticitat i, en general, una vida útil més llarga que les silicones de base estany. No obstant això, són silicones més cares i sensibles que les anteriors, ja que poden inhibir el seu procés de polimerització en contacte amb alguns materials com els guants de làtex, les plastilines amb sofre, la fusta o els vernissos acrílics. Generalment, els dos components es barregen a parts iguals (1:1) tot i que existeixen excepcions.

PROPIETATS FÍSQUES

Una de les propietats de la silicona, abans del procés de polimerització, és la seva **viscositat**.⁴ La seva unitat de mesura és el cps o cP (centipoise), equivalent a un milipascal per segon (mPa·s). Com a referència, l'aigua té una viscositat d'1 cps, sent la més baixa que existeix, l'oli d'oliva té 500 cps i la mel 10.000 cps.⁵ Les silicones líquides de viscositat més baixa solen tenir uns 4.000 cps mentre que les de viscositat més alta uns 45.000 cps.

1	PROPIETATS	POLICONDENSACIÓ	POLIADDICIÓ
	Composició		
	Estabilitat dimensional		
	Vida útil	Llarga	Molt llarga
	Inhibició	No és susceptible	És susceptible al làtex i al sofre entre d'altres
	Temps de curat	 Lent	 Ràpid
	Proporcions	95% - 5%	50% - 50%

[1] Taula comparativa entre les propietats de les silicones de policondensació i poliaddició (Imatge: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

Quan es requereixen silicones amb viscositats molt elevades es pot afegir un **agent tixòtrop**, d'aquesta manera la silicona és aplicable en superfícies verticals o inclinades amb pinzell o espàtula, evitant el degoteig. Generalment, l'additiu tixòtrop s'afegeix a la base de la silicona abans que el catalitzador i la seva proporció pot variar entre un 2% un 4%.⁶

Durant el procés de polimerització de la silicona, la seva viscositat augmenta amb el temps. Es denomina *pot life* al temps que requereix la mescla per a arribar a tenir el doble de la viscositat inicial en condicions ambientals controlades (entre 23 °C i 25 °C). Aquest paràmetre actua com a guia per a determinar el seu **working life**, és a dir, el temps que la mescla es manté en un rang de viscositat amb el qual encara es pot treballar.⁷ El *working life* d'una silicona condicionarà indiscutiblement l'elecció de l'una o l'altra, ja que en general pot variar entre pocs minuts i les cinc hores. Un altre paràmetre per a tenir en compte és el **temps de curat**, que correspon al temps que la silicona triga a polimeritzar completament i ve determinat per la velocitat de reacció. El temps de curat s'inicia una vegada aplicat el catalitzador, ja que la seva addició inicia la reacció de reticulació.⁸ El catalitzador és el responsable de proporcionar una constitució elàstica, gomosa i estable a la silicona. La quantitat de catalitzador afegit determina la velocitat de reacció, tot i que sempre és recomanable utilitzar les proporcions especificades pel fabricant. El temps de curat de la silicona pot variar entre els 30 minuts i les 24 hores i és un factor que condiciona (tal com el *working life*) l'elecció de la silicona.

Una altra propietat física rellevant, una vegada la silicona ha polimeritzat, és la resistència a la *indentation*, és a dir, la resistència a la penetració d'una punta. A aquesta propietat se'n diu **duresa elàstica** i l'escala per mesurar aquesta resistència es denomina Shore.⁹ Existeixen diferents escales de duresa Shore per mesurar diferents materials, com els cautxús tous, els plàstics rígids i els gels supertous. La d'aplicació en el cas de les silicones és l'escala Shore A, que és la que s'utilitza per als elastòmers "més tous". El rang d'aquesta escala numèrica va de 0 (duresa mínima) fins a 95 (duresa màxima) i les silicones utilitzades per a la realització de motlles generalment tenen un Shore A, comprès entre 15 i 30. Aquest paràmetre està directament relacionat amb la flexibilitat, mentre que un valor més baix correspon a una silicona més flexible, uns Shores alts comporten menys flexibilitat i, per tant, major facilitat de trencament en el procés de desemmotllat.

Una vegada finalitzat el procés de polimerització de la silicona, cal contemplar una última propietat: la

resistència a l'elongació. Aquesta magnitud mesura l'augment de longitud abans del seu trencament quan la silicona se sotmet a un esforç de tracció. Aquest paràmetre determina la vida útil del motlle, ja que en cada procés de desemmotllat s'exerceix un esforç de tracció que l'estressa. Generalment, les silicones per a emmotllament tenen una elongació d'entre 250% i el 500% respecte al seu estat en repòs.

Les diferents propietats físiques de les silicones es resumeixen en la imatge. ²

APLICACIONS I REVISIÓ DE MARQUES COMERCIALS

En l'àmbit de la paleontologia, s'han de valorar independentment cadascun dels paràmetres detallats anteriorment en funció de les característiques del fòssil, de la funció que es pretengui donar al motlle, del número de

[2] Resum de les propietats físiques de les silicones (Imatge: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

⁴ Resistència que presenta un líquid per a fluir.

⁵ Un compost amb un valor superior als 2.000.000 cps és tan viscos que es classifica com a una goma.

⁶ Aquests valors no són absoluts, és important realitzar proves prèvies.

⁷ El *working life* pot variar tant per les condicions ambientals com pel mètode d'emmotllament.

⁸ La reticulació, d'igual manera que la vulcanització o el curat, implica la formació d'una xarxa tridimensional formada per la unió de diferents cadenes polimèriques homogènies.

⁹ Dita així pel seu inventor, Albert Ferdinand Shore (1876-1936).

2
PROPIETATS FÍSQUES DE LES SILICONES



Viscositat

Resistència que presenta un líquid per fluir. La seva unitat de mesura és el cps (centipoise).



Working life

Temps que la mescla es manté en un rang de viscositat adequat per treballar.



Temps de curat

Temps que la silicona triga a polimeritzar completament.



Shore A

Mesura de la duresa elàstica d'una silicona.



Resistència a l'elongació

Mesura l'augment de longitud abans del trencament quan la silicona és sotmesa a un esforç de tracció.

¹⁰ SAWAURA, R.; KIMURA, Y.; KUBO, M.O. "Accuracy of dental microwear impressions by physical properties of silicone materials". *Frontiers in Ecology and Evolution*. Vol. 10 (2022), p. 1- 12.

¹¹ Elements esquelètics diferents al crani.

¹² Els microvertebrats engloben a tots aquells vertebrats de menys de 5 kg de pes en vida com les musaranyes, rates d'aigua, esquirols, etc.

¹³ Els macrovertebrats engloben a tots aquells vertebrats de més de 5 kg de pes en vida com les hienes, cavalls, elefants, etc.

rèpliques que es vulgui produir, així com el nivell de detall que es persegueixi.

En termes generals, un Shore A elevat i una viscositat alta permetran realitzar motlles resistents i de gran durabilitat, adequats per a fòssils de grans dimensions, elaborats in situ o amb morfologies simples. Aquests valors de la silicona no seran útils per a fòssils amb morfologies complexes, ja que donen lloc a motlles molt rígids que podrien perjudicar l'original i dificultar el procés de desemmotllat. Tampoc resulten útils quan es pretén obtenir un motlle de gran resolució, ja que tenen una capacitat limitada per registrar petits detalls. És per això que, per a realitzar motlles in situ es triaran silicones amb Shore A elevat i viscositat alta i, preferiblement, un temps de curat baix que permeti optimitzar la jornada de treball en el jaciment.

Al contrari, un Shore A baix permet un fàcil desemmotllat en generar un motlle molt flexible. En general, els motlles amb Shore A baix tenen una vida útil més curta i la seva resistència a l'elongació sol ser menor. Les silicones amb Shore A molt baix no estan indicades per a fer motlles que requereixin llargues sèries de replicat.

Una viscositat baixa permet realitzar motlles per abocament amb gran fidelitat i detall. Si, a més a més, el *working life* és alt, la silicona pot incidir en les zones més profundes del fòssil i registrar amb exactitud la seva morfologia. Aquests valors permeten obtenir resultats òptims per a fòssils amb morfologies complexes dels quals es persegueix obtenir el màxim detall.

A continuació, es detallen algunes de les marques comercials de silicones líquides (aplicació per abocament) utilitzades per a la realització de motlles en el camp de la paleontologia. Els paràmetres especificats es basen en les fitxes tècniques de cada fabricant, encara que s'ha constatat que no sempre corresponen amb exactitud als valors reals:¹⁰

3 SIKA® Essil 125

 45.000 cps	 1 h 20 min	 24 h	 24 Shore A	 500%
Peculiaritat		Aplicacions		
 Vida útil llarga		   Invertebrats, elements cranials i postcranials		

Sika® **Essil 125** (abans de l'any 2021, Axson Technologies® Essil 125) és una silicona de policondensació amb una viscositat de 45.000 cps i duresa de 24 Shore A. El *working life* és d'1 hora i 20 minuts, el temps de curat de 24 hores i la seva elongació és del 500%, una de les majors del mercat en silicones de policondensació. Es tracta d'una silicona de molt bona qualitat que dona com a resultat motlles amb una llarga vida útil i unes rèpliques amb bona definició. Està indicada per emmotllar invertebrats i elements cranials i postcranials¹¹ de vertebrats de qualsevol grandària, a excepció de dents de microvertebrats.¹² **3**

4 SAGRISTÀ PRODUCTS® Silcast C-520

 30.000 cps	 3 h	 22 h	 22 Shore A	 350%
Peculiaritat		Aplicacions		
 Contracció lineal ±1		  Invertebrats i elements postcranials mitjans o grans		

Sagristà Products® **Silcast C-520** és una silicona de policondensació amb una viscositat de 30.000 cps i una duresa 22 Shore A. Té un *working life* de 3 hores, un temps de curat de 22 hores i una elongació del 350%. És una bona opció per a motlles que necessitin produir un gran nombre de rèpliques. La seva contracció lineal és de l'1%, un valor una mica elevat per modelar fòssils petits i amb molts detalls, però que pot resultar adequada per modelar invertebrats de grandària mitjana o gran, així com elements postcranials de macrovertebrats.¹³ **4**

[3] Propietats i aplicacions de la silicona de policondensació Sika® Essil 125.

[4] Propietats i aplicacions de la silicona de policondensació Sagristà Products® Silcast C-520 (Imatges: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

5 SAGRISTÀ PRODUCTS® Silgom				
Silgom A21 Blue				
				
6.000 cps	1 h	4 h	22 Shore A	450%
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Alta resistència mecànica		Elements anatòmics petits i mitjans		
Silgom A30				
				
11.000 cps	50 min	4 h	30 Shore A	450%
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Compatible amb resines epoxídiques		Elements anatòmics mitjans		
Silgom 727 HT				
				
4.100 cps	10 min	1 h	28 Shore A	500%
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Resisteix altes temperatures		Elements anatòmics petits		
6 SMOOTH ON Mold Star®				
Mold Star® 15 Slow				
				
12.500 cps	50 min	4 h	15 Shore A	440%
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Registra petits detalls		Crestes, solcs i cúspides de les corones dentals de microvertebrats		
Mold Star® 16 Fast				
				
12.500 cps	6 min	30 min	16 Shore A	440%
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Registra petits detalls		Crestes, solcs i cúspides de les corones dentals de microvertebrats		
Mold Star® 30				
				
12.500 cps	45 min	6 h	30 Shore A	440%
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Sensible a les altes temperatures		Motlles de grans dimensions		

La gamma Sagristà Products® **Silgom** són silicones de poliaddició de les quals cal destacar les següents pel seu ús en paleontologia:

- **Silgom A21 Blue** té una viscositat de 6.000 cps i una duresa de 22 Shore A. El *working life* és d'1 hora, el temps de curat de 4 hores i la seva elongació és del 450%. Presenta una alta resistència mecànica, una gran flexibilitat i un elevat nivell de detall. Està indicada per modelar elements anatòmics de petites i mitjanes dimensions.
- **Silgom A30** té una viscositat d'11.000 cps i una duresa de 30 Shore A. El *working life* és de 50 minuts, el temps de curat de 4 hores i la seva elongació és del 450%. Ofereix una alta resistència mecànica, una gran flexibilitat i és compatible amb resines epoxídiques. Està indicada per modelar elements anatòmics de mitjanes dimensions.
- **Silgom 727 HT** té una baixa viscositat de 4.100 cps

i una duresa de 28 Shore A. El *working life* és de 10-12 minuts, el temps de curat d'una hora i la seva elongació és del 500%. Té una notable resistència a temperatures elevades (400 °C) i a l'envelliment; també presenta un alt grau de fidelitat en la reproducció de detalls molt petits. Està indicada per modelar elements anatòmics de petites dimensions que han de replicar-se amb materials d'alta reacció exotèrmica. ⁵

La gamma Smooth-On **Mold Star**® són silicones de poliaddició amb una viscositat de 12.500 cps, una elongació del 440% i comprèn els següents tipus:

- **Mold Star® 15 SLOW** amb una duresa de 15 Shore A, un *working life* de 50 minuts i un temps de curat de 4 hores.
- **Mold Star® 16 FAST** amb una duresa de 16 Shore A, un *working life* de 6 minuts i un temps de curat de 30 minuts. Mold Star® 15 SLOW i Mold Star® 16 FAST

[5] Propietats i aplicacions de la gamma de silicones de poliaddició Sagristà Products® Silgom.

[6] Propietats i aplicacions de la gamma de silicones de poliaddició Smooth-On Mold Star® (Imatges: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

¹⁴ Es denomina icnita a una petjada o rastre d'activitat d'un organisme registrada en els sediments o les roques.

¹⁵ Indicades per a prendre impressions de corones dentals, pròtesis buccals fixes, models d'ortodòncia...

¹⁶ El fabricant no detalla els valors en la fitxa tècnica. Per a més informació vegeu ISO 4823:2015.

¹⁷ El fabricant no detalla els valors en la fitxa tècnica.

¹⁸ Indicada per a prendre la impressió del conducte auditiu.

estan especialment indicades per modelar amb gran detall crestes, solcs i cúspides de les corones dentals de microvertebrats.

• **Mold Star® 30** amb una duresa de 30 Shore A, un *working life* de 45 minuts i un temps de curat de 6 hores. Es recomana la seva aplicació per a motlles de grans dimensions, ja que la seva capacitat de plasmar detalls és limitada. L'ús de materials de replicat de reacció exotèrmica pot escurçar la seva vida útil. ⁶

En el mercat també es troben silicones en pasta com Sagristà Products® **Silcast Tixo**. Es tracta d'una silicona de policondensació amb una alta viscositat (textura de crema) a causa del component tixòtrop que porta incorporat. La seva duresa és de 23 Shore A, té un *working life* de 30 minuts, un temps de curat de 3 hores i una elongació del 350%. Aquest tipus de silicona és adequada per a utilitzar en aplicacions verticals o inclinades, ja que no degota i s'adhereix amb facilitat a la superfície a replicar. En paleontologia, s'usa aquest tipus de silicona en treballs in

situ com la realització de motlles d'icnites,¹⁴ en les quals es requereix una silicona de fàcil maneig, i on les condicions del terreny moltes vegades no propicien la utilització d'una silicona líquida. ⁷

Una altra gamma de silicones utilitzades habitualment són les odontològiques,¹⁵ amb dispositiu de mescla automàtic de tipus pistola que permet aplicar-la per injecció com **Coltène® President**. ⁸ Es tracta de silicones de poliaddició amb un *working life* d'1 minut i 45 segons, un temps de curat de 2 minuts i una vida útil curta, generalment només permeten obtenir dues o tres rèpliques. Dins d'aquesta gamma destaquen les següents:

- **President Light Body** amb una baixa viscositat i duresa elàstica.¹⁶ Està especialment indicada per modelar amb gran detall crestes, solcs i cúspides de corones dentals de macrovertebrats.
- **President Regular Body** amb una viscositat i duresa elàstica mitjana. S'usa com a base del motlle realitzat amb Light Body per evitar la deformació d'aquest quan el motlle no té caixa o safata. ⁹

També existeix una altra gamma de silicones odontològiques amb propietats interessants, com Techim® **Hardduplex**. Són silicones de poliaddició, amb viscositats baixes¹⁷ i un Shore A de 12, 18, 23 o 30. El *working life* és de 10 minuts, el temps de curat de 30 minuts i la seva contracció lineal de 0,04%. Aquestes silicones ofereixen una elevada precisió en la reproducció de detalls, encara que la seva propietat més remarcable és que poden polimeritzar en ambients molt humits o entollats. Per aquest motiu són una bona solució per a realitzar motlles en coves o zones especialment humides. ¹⁰

Zhermarck Wellbeing® **elite ZA-OT 38** és una silicona otològica¹⁸ de poliaddició i que inclou un dispositiu de mescla automàtic. Té una duresa elàstica de 38 Shore A, un *working life* d'1 minut i 30 segons, un temps de curat de 10 minuts i una contracció lineal de <0,1%, una de les més baixes del mercat. Pot donar bons resultats per modelar cavitats internes de cranis de mamífers o detalls interns d'invertebrats. ¹¹

[7] Propietats i aplicacions de la silicona de policondensació Sagristà Products® Silcast Tixo (Imatge: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

[8] Dispositiu de mescla automàtic (Fotografia: Xènia Aymerich / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

7 **SAGRISTÀ PRODUCTS® Silcast Tixo**



Alta



30 min



3 h



23 Shore A



350%

Peculiaritat





Aplicacions verticals

Aplicacions



Motlles d'icnites *in situ*



[96]

CONCLUSIONS

El material ideal d'emmotllament ha de ser de fàcil manipulació, reproduir els detalls amb alta fidelitat, poder variar el temps de curat a voluntat, facilitar el desemmotllat, ser dimensionalment estable, conservar les seves propietats elàstiques indefinidament, ser resistent a altes temperatures, no ser tòxic ni corrosiu i hauria de tenir un cost econòmic baix. Per descomptat, un material que compleixi totes aquestes característiques no existeix, però l'ampli ventall que ofereix el mercat de les silicones comercials ens brinda la possibilitat de trobar la silicona gairebé perfecta per aconseguir els objectius d'un projecte concret.















Tot i això, trobar la silicona adequada per a cada cas resulta una tasca complicada a causa de l'absència de publicacions especialitzades i actualitzades, a la constant evolució d'aquest mercat i a les múltiples aplicacions industrials d'aquest elastòmer. Per realitzar una bona elecció s'han de conèixer les propietats físiques de les silicones i els paràmetres necessaris per a dur a terme el projecte amb èxit. Aquests paràmetres vindran determinats per la morfologia de l'espècimen a modelar, el nivell de detall que es persegueixi, la quantitat de rèpliques necessàries, el material amb el qual es replicarà, les condicions en les quals es realitzarà el motlle, el pressupost i el temps disponibles.








Les silicones descrites en aquest article s'han seleccionat sobre la base de l'experiència del personal de l'Àrea de Preparació i Conservació de l'Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont (ICP). Certament, existeixen en el mercat moltes més silicones, algunes de similars o fins i tot amb millors prestacions, no obstant això, el seu elevat cost, la dificultat de trobar proveïdors o els dilatats períodes de lliurament les fan menys recomanables per al seu ús habitual.

Finalment, cal destacar que, encara que les aplicacions aquí detallades es refereixen a l'ús de les silicones per a motlles en el camp de la paleontologia, aquest compendi també pot ser d'utilitat per a estudiants i professionals d'altres camps de la conservació que requereixin l'ús de motlles.

AGRAÏMENTS

Volem agrair a Pere Figuerola i al personal de l'Àrea de Preparació i Conservació de l'ICP, especialment a Marina Rull, l'ajuda rebuda durant la recerca i redacció d'aquest article i reconèixer el suport del Programa CERCA (Generalitat de Catalunya). També, agrair a la direcció i consell de redacció de la revista *Unicum* la seva labor en la difusió de la conservació i restauració dels béns culturals.

9 COLTÈNE® President				
President Light Body				
				
Baixa	1 min i 45 seg	2 min	-	-
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Vida útil molt curta		Crestes, solcs i cúspides de les corones dentals de microvertebrats		
President Regular Body				
				
Mitja	1 min i 45 seg	2 min	-	-
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Vida útil molt curta		Base del motlle de Light Body		

10 TECHIM® Hardduplex				
				
Baixa	10 min	30 min	12,18,23,30 Shore	-
Peculiaritat		Aplicacions		
				
Polimeritza en ambients humits o entollats		Motlles en coves o <i>in situ</i> en tolls		

[9] Propietats i aplicacions de la gamma de silicones de poliaddició Coltène® President.

[10] Propietats i aplicacions de la gamma de silicones de poliaddició Techim® Hardduplex (imatges: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

11 ZHERMARCK WELLBEING® elite ZA-OT 38				
 Baixa	 1 min	 10 min	 38 Shore A	 -
Peculiaritat		Aplicacions		
 Contracció lineal <0,1%		 Detalls interns de cranis i d'invertebrats		

[11] Propietats i aplicacions de la silicona de policondensació Zhermarck Wellbeing® elite ZA-OT 38 (imatge: Almudena S. Yagüe / Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont CC BY-NC-ND).

BIBLIOGRAFIA

AYMERICH, X.; VIZCARRO, M.; RULL, M. "Realización de moldes con silicona proyectada" [Abstract]. A: LÓPEZ-POLÍN, L.; MORENO RIBAS, E.; DÍAZ CORTÉ, A.; VALTIERRA, N. (eds.). *RCR Hueso: 1a Reunión Conservación y restauración de Hueso*. Tarragona: Conservación y restauración. Institut Català de Paleoeologia Humana i Evolució Social, 2021, p. 30-32.

BAEZA, E.; GUITIÉRREZ-MARCO, J. C.; RÁBANO, I. "Obtención de grandes réplicas de elementos singulares del patrimonio geológico del Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha)". A: VEGAS, J.; SALAZAR, A.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; MARCHÁN, C. (eds.). *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2013, p. 573-582.

BENTON, M.J.; WALKER, A.D. "The use of flexible synthetic rubbers for casts of complex fossils from natural moulds". *Geological Magazine*. Cambridge: Vol. 118 (1981), núm. 5, p. 551-556.

CHANEY, D. S.; GOODWIN, M. "R.T.V. Silicone Rubber Compounds Used for Molding Fossil Vertebrate Specimens: A Comparison". *Journal of Vertebrate Paleontology*. Vol. 9 (1989), núm. 4, p. 471-473.

FRIED, J.R. *Polymer science and technology*. Massachusetts: Pearson Education, inc., 2003.

KEYES, I. W. "Paleontological casting and moulding techniques". *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. Vol. 2 (1959), núm. 1, p. 56-65.

POLMANTEER, K.E. "Current Perspectives on Silicone Rubber Technology". *Rubber Chemistry and Technology*. Vol. 54 (1981), núm. 5, p. 1051-1080.

PRADO JUEZ, A. *Técnicas de replicado para piezas paleontológicas*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 1991.

SHIT, S.C.; SHAH, P. "A review on silicone rubber". *National Academy Science letters*. Vol. 36 (2013), núm. 4, p. 355-365.

WILLIAMS, D.; EDWARDS, D. "Moulding and cast replication of outcrops: a tool in geoconservation". *Proceedings of the Geologists' Association*. Vol. 124 (2013), núm. 4, p. 648-652.