

Guía para seleccionar SILICONA PARA MOLDES

Lucía López-Polín

*Laboratori de Tècniques de Motlles i
Reproduccions*

Grau en Conservació i restauració de Béns
Culturals – Universitat de Barcelona

CONTENIDO

1.	Introducción	1
2.	Nociones básicas sobre la silicona para moldes	1
3.	Cómo seleccionar la silicona para hacer un molde	3
4.	Preparación de la silicona y aditivos	7
5.	Riesgos y medidas de protección	8
6.	La protección de los objetos originales	8
7.	Lecturas recomendadas	9
8.	Referencias citadas	10

1. INTRODUCCIÓN

Aunque obtener un molde simple puede ser un proceso muy sencillo, el trabajo de moldeo suele requerir un conocimiento práctico extenso que permita considerar todos los requisitos y posibles riesgos desde múltiples ángulos. Los moldes de silicona pueden ser de una o más piezas; pueden ser finos como un tejido o de varios centímetros de grosor; y pueden contar, o no, con algún tipo de contramolde o soporte externo rígido que los refuerce. Además, pueden obtenerse por colada, por pincelado o mediante impresión. Conocer mínimamente los tipos de molde y las técnicas de obtención es necesario antes de poder valorar el producto final del moldeo. Para ello, resultan útiles manuales como los recogidos en el apartado de “Lecturas recomendadas”, así como guías y otros recursos valiosos que ofrecen en internet los proveedores o fabricantes de productos para moldeo.

Esta guía pretende únicamente orientar en la selección de productos de silicona al iniciarse en el moldeo con este material. Tras un apartado con nociones sobre composición y los tipos de silicona, se explican las propiedades básicas de los cauchos de silicona que se emplean habitualmente en el campo de la conservación-restauración para la elaboración de moldes. A continuación, se recogen algunos apuntes breves sobre la preparación y los aditivos que modifican las propiedades de estos productos. Finalmente, si en algo debe diferenciarse la perspectiva de la conservación-restauración a la hora de hacer un molde, es en el cuidado del original. Por ello, se incluye un breve apartado dedicado a este aspecto.

2. NOCIONES BÁSICAS SOBRE LA SILICONA PARA MOLDES

La silicona es un compuesto sintético polimérico, de tipo termoestable, constituido por átomos de silicio y oxígeno unidos mediante enlaces covalentes, formando largas cadenas de siloxano (-Si-O-Si). Estas cadenas se conectan unas a otras tanto mediante enlaces covalentes, como mediante enlaces cruzados (“cross-linking”), formando una estructura tridimensional. Los grupos funcionales que actúan como agentes de entrecruzamiento se sitúan al final de las cadenas y son grupos hidroxilo (-OH) o vinilo (-CH=CH₂). Estos grupos son los que reaccionan con el agente de curado, dando lugar a un elastómero reticulado o curado (Lorenz & Kandelbauer, 2022).

La compleja química de la silicona da lugar a una amplia variedad de productos con propiedades físicas diversas. Comercialmente, estos productos se presentan en formas tan variadas como aceites lubricantes, adhesivos o cauchos de silicona. Estos últimos, también conocidos como elastómeros de silicona, son los que se utilizan en la elaboración de moldes. Dentro de este mismo ámbito de aplicación, de la realización de moldes artesanales, también pueden usarse productos de silicona en formato spray como agentes desmoldeantes.

Los cauchos o elastómeros de silicona son generalmente polidimetilsiloxanos (PDMS) reforzados con alguna carga, y se presentan en diversas formas físicas: líquida o sólida, como pasta o masilla (Jershow, 2001; Lorenz & Kandelbauer, 2022). Estos elastómeros pueden requerir temperaturas altas para vulcanizar o curar, aunque también existen formulaciones que curan a temperatura ambiente. El material que se utiliza para hacer moldes en nuestro ámbito es el que pertenece a esta última categoría y se conoce como RTV, por las siglas en inglés de “Room Temperature Vulcanizing”.

Los productos RTV pueden ser de uno o de dos componentes, denominándose RTV-1 y RTV-2 respectivamente. Las siliconas RTV-1 se utilizan principalmente como adhesivos o selladores, mientras que las RTV-2, compuestas por dos componentes que deben mezclarse antes del uso, son las que se emplean comúnmente en la fabricación de moldes (Figura 1).

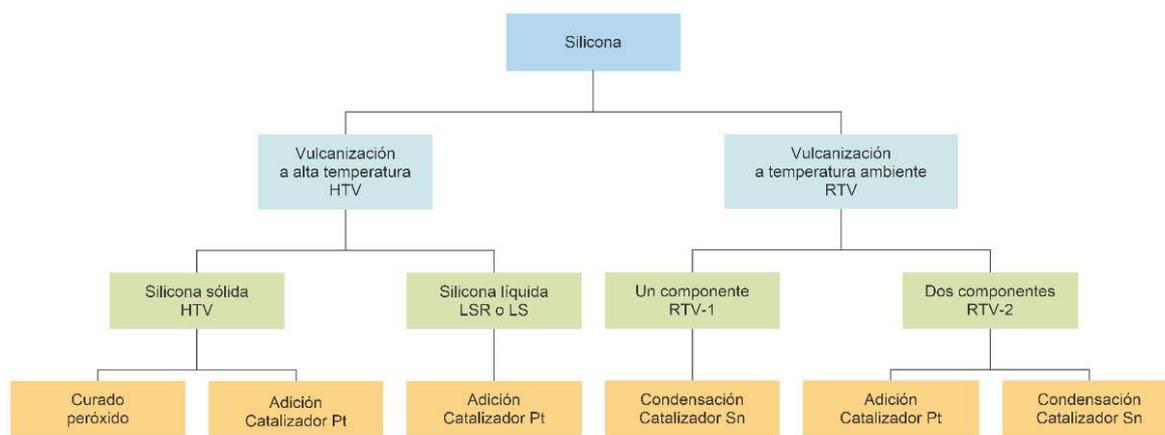


Figura 1. Elastómeros de silicona (figura basada en Jershow, 2001).

Dentro del grupo de siliconas RTV-2 —es decir, de dos componentes que curan a temperatura ambiente— se distinguen dos tipos según el mecanismo de curado: las de condensación y las de adición. Ambos tipos están compuestos por una base y un agente de curado (también llamado catalizador o endurecedor) y, generalmente, se presentan en forma líquida, aunque también pueden encontrarse en forma de pasta. La base contiene el polímero de silicona, cargas minerales y diversos aditivos, mientras que el agente de curado incluye los compuestos entrecruzantes y, en algunos casos, pigmentos o colorantes que facilitan el control visual de la mezcla.

El curado por condensación se produce mediante catalizadores a base de estaño y genera subproductos durante la reacción. En cambio, el curado por adición emplea catalizadores a base de platino y no genera subproductos (Tabla 1). Ambos tipos de silicona pueden emplearse en la fabricación de moldes.

Tradicionalmente, en el ámbito de la conservación-restauración se han empleado mayoritariamente siliconas de condensación, ya que eran las más accesibles en el mercado y ofrecían resultados

adecuados para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, en los últimos años, la oferta de siliconas de adición se ha ampliado considerablemente. Aunque su precio sigue siendo superior al de las de condensación, son más asequibles que en el pasado, lo que ha favorecido su incorporación progresiva en este campo. Ambos tipos de silicona pueden ser adecuados dependiendo del tipo de molde que se desee obtener.

Silicona RTV-2		
	Condensación	Adición
<i>Presentación</i>	Normalmente es líquido que se añade en cantidades pequeñas (p.e. 5:100).	Normalmente se suministra en kits en los que hay que usar típicamente 10:1 base agente de curado.
<i>Curado, inhibición y encogimiento</i>	Se condensa alcohol durante el curado.	No se liberan subproductos (encogen menos durante el curado).
	Normalmente no se inhibe.	El curado puede inhibirse en contacto con algunas sustancias.

Tabla 1. Algunas propiedades de las siliconas de condensación y adición.

Una de las principales ventajas de las siliconas de adición frente a las de condensación es que, al no generar subproductos durante su curado, encogen menos (Horie, 2010). Esto se traduce en una mayor fidelidad en la reproducción de detalles, lo cual resulta especialmente relevante al moldear objetos pequeños, con relieves poco perceptibles o en aquellos casos en los que se requiere la máxima precisión, como, por ejemplo, en la elaboración de moldes destinados a observaciones microscópicas. No obstante, las siliconas de adición presentan también algunas limitaciones, entre ellas, una mayor susceptibilidad a la inhibición del curado cuando entran en contacto con ciertos materiales, como algunas resinas epoxi, arcillas o adhesivos específicos.

3. CÓMO SELECCIONAR LA SILICONA PARA HACER UN MOLDE

3.1. Propiedades relevantes

Además del tipo de curado, las propiedades de la silicona que suelen considerarse para elegir uno otro producto para hacer moldes son la viscosidad, los tiempos de trabajo y de curado, la contracción, la dureza y la resistencia al desgarro y a la rotura. Todas propiedades están indicadas en las fichas técnicas de los productos (ejemplo en [Tabla 2](#)).

Para la realización de los primeros moldes, lo más recomendable es seguir las indicaciones proporcionadas por los fabricantes o las referencias recogidas en la bibliografía especializada. Una vez se adquiere experiencia con determinados productos, es posible seleccionar alternativas comparando los valores de las fichas técnicas con los de los productos ya conocidos.

Gama de productos RTV2 <i>Marca X</i>						
Producto	Viscosidad (mPas)	Dureza Shore A	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Alagamiento de rotura (%)	Resistencia al desgarro (N/mm)	Encogimiento (%)
X-1Sn	>10 ⁶	26	4,5	450	>23	0,4
X-2Sn	10.000	60	4,5	120	>4	0,8
X-A3Pt	8.000	55	3	130	>4	<0,1
X-A4Pt	50.000	40	5,5	400	>25	<0,1

Tabla 2. Ejemplo de información de proveedor sobre diferentes elastómeros de silicona.

A la izquierda, se ejemplifican los cuatro productos que ofrece el proveedor de curado por condensación (Sn, estaño) y por adición (Pt, platino). Como se ve en la tabla, dos productos con viscosidades diferentes pueden tener la misma resistencia a la tracción y las de curado por adición siempre encogen menos.

Para manejar bien la información que aparece en las fichas técnicas, es importante distinguir mínimamente aquellas propiedades que pueden ser importantes para el molde que se quiere realizar, que son las que se resumen a continuación:

- **Tiempos de trabajo y de curado**

El tiempo de trabajo es el período durante el cual la silicona mantiene propiedades físicas prácticamente iguales a las que presenta en el momento de mezclarla con el agente de curado. Este intervalo debe ser lo suficientemente largo para permitir adecuadamente la aplicación del producto y su distribución sobre la superficie a moldear.

Por su parte, el tiempo de curado indica cuándo la silicona ha alcanzado la dureza necesaria para poder desmoldearla. Este parámetro es especialmente relevante en función del tiempo disponible para hacer el trabajo. Además, en la fabricación de moldes pequeños o que requieren menor cantidad de silicona – por ejemplo, hechos mediante capas finas y superpuestas de silicona-, pueden utilizarse productos con tiempos de curado más rápidos, mientras que para moldes de colada o en los que se utiliza mayor cantidad de silicona, son preferibles tiempos más largos. Asimismo, un tiempo de trabajo corto puede ser ventajoso al moldear superficies verticales o inclinadas, ya que al limitar el tiempo en el que el producto fluye, reduce el riesgo de que la silicona se deslice o desprenda antes de solidificarse.

- **Viscosidad**

La viscosidad de la silicona se mide habitualmente en centipoises (cP) o en milipascales por segundo (mPa·s), siendo estas unidades equivalentes (1 cP = 1 mPa·s); a menor valor, menor viscosidad. De manera orientativa, las siliconas RTV de condensación presentan viscosidades que varían desde productos fluidos, aptos para verter, con valores alrededor de 12.000 cP, hasta pastas muy viscosas que pueden alcanzar los 600.000 cP (Lorenz, 2022).

En la práctica, una silicona fluida puede rellenar mejor determinados huecos o colarse por orificios estrechos, mientras que una muy viscosa, como son las masillas, puede aplicarse con espátula o utilizarse por impresión.

- **Dureza**

En el caucho de silicona, la dureza se mide comúnmente mediante el ensayo Shore, que evalúa la resistencia del material a la penetración de un indentador rígido en su superficie. Esta dureza se expresa numéricamente en una escala que va del 1 al 100, pero en escalas diferentes, como Shore A, D, H y O. Es importante tener en cuenta que un mismo valor numérico puede corresponder a durezas diferentes según la escala utilizada.

En la industria del caucho de silicona, la escala más habitual es la A, por lo que en las fichas técnicas se suele indicar como “Shore A” seguido de un número. Un valor más bajo representa un material más blando, mientras que un número más alto indica un material más duro.

La dureza Shore no es un indicador de otras propiedades como la resistencia a la abrasión, al desgaste o a los rayados, pero sí guarda relación con la flexibilidad del material: una silicona más dura resulta menos flexible, lo que puede dificultar el desmoldeo en zonas con muchas retenciones o geometría compleja. Además, una mayor dureza proporciona al molde una mejor estabilidad dimensional durante el proceso de vaciado, especialmente en moldes macizos sin contramolde, ya que en los moldes con contramolde esta rigidez queda garantizada por este último.

- **Resistencia a la tracción, elongación alargamiento de rotura y resistencia al desgarro**

La resistencia a la tracción, la elongación alargamiento de rotura y la resistencia al desgarro son propiedades que indican la capacidad del caucho de silicona para soportar diferentes tipos esfuerzos mecánicos. Estas propiedades se obtienen a partir de diferentes ensayos de tracción (Núñez et al. 2012, 2013).

La resistencia a la tracción mide la fuerza máxima que puede soportar un material antes de romperse ante un esfuerzo de estiramiento. En el Sistema Internacional (SI), esta propiedad se expresa en pascales (Pa), que equivale a N/m^2 . En las fichas técnicas normalmente la encontramos expresada en megapascales (MPa) o en N/mm^2 , así como en PSI en algunas publicaciones anglosajonas.

Otra propiedad que suele especificarse es el alargamiento o elongación de rotura, que indica cuánto puede estirarse un material antes de romperse. Esta característica se expresa generalmente como un porcentaje (%), reflejando la deformación máxima que el material puede soportar sin sufrir fractura.

Finalmente, la resistencia al desgarro indica la capacidad del material para resistir la propagación de un desgarro una vez que este se ha iniciado. Se expresa en unidades de fuerza por unidad de espesor, generalmente newtons por milímetro (N/mm).

En la práctica, la resistencia a la tracción y el alargamiento indican la capacidad del material para soportar esfuerzos y deformarse antes de romperse. Por su parte, la resistencia al desgarro proporciona información sobre la forma en que se propaga una fractura en el material, un aspecto especialmente relevante en moldes no muy gruesos, donde este tipo de roturas puede ser más frecuente.

- **Contracción o encogimiento**

La contracción se refiere a la reducción del volumen final respecto al volumen inicial y suele expresarse en porcentaje (%). Cuanto menor sea esta contracción, mayor será la capacidad de la silicona para reproducir con precisión los detalles de la superficie moldeada. Las siliconas de condensación presentan un ligero encogimiento durante el proceso de curado, mientras que, las siliconas de curado por adición apenas encogen.

3.2. La combinación de los criterios de selección

La elección de la silicona para fabricar un molde depende de varios factores, pero fundamentalmente debe considerarse lo siguiente: la técnica de moldeo que se va a emplear, la geometría del objeto a moldear y la resistencia mecánica y química que se espera del molde. Es decir, la selección del producto tiene que hacerse considerando el diseño y el uso del molde.

Cuando se diseña un molde hay que analizar la geometría del objeto y prever cómo será su desmoldeo, identificando posibles zonas donde la silicona pueda quedar atrapada, lo cual supone un riesgo de rotura de la silicona o del objeto durante el desmoldeo. Para facilitar el desmoldeo en objetos con geometría compleja, se puede diseñar un molde más o menos grueso o adaptar bien cada pieza del molde, pero también se puede usar una silicona más elástica.

La resistencia mecánica también juega un papel importante durante el desmoldeo. Según la complejidad de la geometría del objeto, será necesario que la silicona sea más o menos resistente a la rotura; esto es importante tanto durante el desmoldeo del objeto original, como durante el desmolde de las réplicas. Dependiendo de la geometría, se puede optimizar la resistencia diseñando adecuadamente el molde, tanto su grosor como sus piezas, para reducir el esfuerzo sobre la silicona.

Otro aspecto clave es el material con el que se fabricarán las réplicas y la cantidad de copias que se desea obtener. Si el molde es solo para una réplica -o unas pocas-, no es relevante que la silicona sea especialmente resistente. En cambio, si se requiere un molde más duradero, será importante considerar la resistencia química y térmica de la silicona considerando el tipo de material que se utilizará en el proceso de obtención de la réplica.

En definitiva, normalmente, lo primero que hay que decidir es si se utilizará silicona de curado por condensación o por adición (Tabla 1). Además, normalmente las propiedades que se valoran de entrada son la viscosidad y el tiempo de trabajo adecuados para el proyecto. Sin embargo, como se ha visto, es fundamental tener en cuenta todas las propiedades en su conjunto, ya que la optimización de una característica específica puede influir en otras en un producto concreto. Por ejemplo, si se requiere una silicona más fluida, será necesario considerar su viscosidad, pero también evaluar si esta elección significa que varían otras propiedades clave, como la resistencia.

4. PREPARACIÓN DE LA SILICONA Y ADITIVOS

Para preparar la silicona de moldeo hay que seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a la proporción de las mezclas y el tiempo de trabajo. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que:

- La proporción necesaria para la mezcla entre la base y agente de curado en siliconas de condensación, o de los dos componentes en siliconas de adición, es similar, pero no necesariamente idéntica entre diferentes productos. Por ello, siempre debe consultarse la ficha técnica antes de comenzar.
- Es imprescindible mezclar muy bien ambos componentes para asegurar que toda la base cure correctamente. Si el tiempo de trabajo es corto, la mezcla debe realizarse con mayor rapidez.
- Se pueden añadir colorantes o pigmentos antes de mezclar para facilitar el control visual de la mezcla: cuando la silicona adquiere un color uniforme, se puede considerar que la mezcla está bien realizada. Aunque la mayoría de los pigmentos en polvo son compatibles, se suministran colorantes específicos para silicona. De hecho, algunos productos se presentan con elementos ya coloreados para facilitar este control de la mezcla, por ejemplo, en los de adición los dos componentes suelen tener colores diferentes y, en algunos productos de curado por condensación, el agente de curado está coloreado.
- Para reducir la formación de burbujas en siliconas fluidas, se puede desgasificar la mezcla utilizando bombas de vacío. Esto puede hacerse antes de mezclar (solo desgasificando la base) o después de la mezcla, siempre que el tiempo de trabajo lo permita. Cuando no se dispone de vacío, una forma de minimizar las burbujas en la zona que estará en contacto con el objeto a reproducir es verter la silicona despacio, formando un hilo fino en un punto fijo, sin moverlo, dejando que la silicona vaya rellenando poco a poco el espacio delimitado.

Además de los cauchos de silicona, en el mercado se comercializan diversos aditivos. Entre ellos, suele haber agentes de curado alternativos al estándar, que normalmente aceleran el proceso de curado. También se ofrecen agentes tixotrópicos, que espesan la silicona para evitar que se deslice o descuelgue, una característica especialmente útil en superficies verticales o invertidas (por ejemplo,

techos). Para estas aplicaciones, además de utilizar un tixotrópico, es importante considerar la velocidad de curado, ya que cuanto más rápido cure la silicona, menos tiempo tendrá para descolgarse. Hay que tener en cuenta que estos aditivos, bien sean agentes de curado diferentes o tixotrópicos, modifican también las propiedades de la silicona curada, generalmente reduciendo su resistencia.

Cuando se trabaja con un producto desconocido, además de seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante, la mejor recomendación es realizar una prueba previa con una pequeña cantidad, incluyendo el aditivo o colorante, y, si es posible, aplicarla en condiciones similares a las de la aplicación final, por ejemplo, en una superficie vertical.

5. RIESGOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN

La información sobre los peligros de los cauchos de silicona destinados a la fabricación de moldes debe consultarse siempre en las fichas de seguridad actualizadas correspondientes. En el caso de las siliconas RTV-2, es fundamental revisar la información de ambos componentes, la base y el agente de curado.

De manera orientativa, en las siliconas de condensación, la base suele presentar pocos riesgos, mientras que los agentes de curado que contienen estaño pueden ser más peligrosos, requiriendo medidas adicionales de seguridad, como una adecuada ventilación y el uso de guantes protectores. En cualquier caso, es imprescindible consultar la ficha de seguridad actualizada del producto antes de su uso para garantizar un manejo seguro.

6. LA PROTECCIÓN DE LOS OBJETOS ORIGINALES

En el ámbito de la conservación-restauración pueden hacerse moldes de objetos únicos. El proceso de moldeo con silicona conlleva una serie de riesgos que deben ser cuidadosamente evaluados.

Para empezar, la silicona puede dejar manchas, especialmente en materiales porosos como cerámica o algunas rocas (ver por ejemplo Horie 2010, p.118). Según el color de los materiales, estas manchas pueden pasar desapercibidas y, debido a la gran variedad de productos y superficies a moldear, es posible que no se presenten problemas. Pero ante la duda, se recomienda realizar una pequeña prueba previa a la aplicación de la silicona en toda la superficie.

Además, la silicona se puede adherir a la superficie moldeada. Esto puede ocasionar tanto el arranque de parte de la superficie del material moldeado, como que queden restos de silicona

difíciles de retirar del todo. De nuevo, la adherencia varía según el tipo de silicona y la superficie, por lo que una prueba también es aconsejable para valorar este riesgo.

Para evitar problemas de adhesión, se recomienda generalmente aplicar una capa intermedia o un producto desmoldeante sobre la superficie a moldear. Entre los productos habituales, como recoge Navarro Lizandra (2011:275-277), se encuentran el jabón, la vaselina, el alcohol polivinílico o las ceras. También se pueden usar polvo de talco, consolidantes, barnices o productos en spray a base de aceites de silicona. En cualquier caso, hay que valorar si lo que tenemos que moldear puede ser realmente impregnado con esos productos. Puede ser inadecuado aplicar vaselina u otros materiales a determinadas superficies porosas o delicadas. Por lo tanto, hay que atender no sólo a la interacción de la silicona con la superficie original, sino también a la del posible agente de separación con el original.

Finalmente, el proceso de desmoldeo comporta tensión sobre el objeto o la superficie moldeada. La tensión puede ser mayor o menor en función de múltiples factores, entre ellos la elasticidad de la silicona y el grosor del molde. Un molde fino y de grosor homogéneo, que permita un desmoldeo suave, normalmente reduce los riesgos, mientras que los moldes gruesos aumentan la probabilidad de fracturas, especialmente en partes salientes del relieve o detalles delicados.

En resumen, antes de diseñar un molde con silicona hay que valorar si esta o el producto desmoldeante elegido pueden suponer ensuciar significativamente el material, si la silicona puede arrastrar alguna parte de la superficie moldeada y si el proceso de moldeo puede generar tensiones demasiado grandes. Si el moldeo supone algún riesgo relevante, es mejor recurrir a algún tipo técnica sin contacto, como la fotogrametría o el escaneo 3D.

7. LECTURAS RECOMENDADAS

Se indican en este apartado algunas lecturas básicas sobre silicona y sobre técnicas de moldeo que complementa bien el contenido de la asignatura práctica sobre moldes.

La bibliografía sobre realización de moldes es relativamente amplia. Además de las referencias citadas a lo largo de este texto, como manuales de referencia para esta asignatura, se puede usar el de Navarro Lizandra (2011). Se trata de un manual con numerosas fotografías, útil como guía para realizar moldes en diversos materiales, incluida la silicona.

Otro manual detallado y bien ilustrado centrado solo en moldes arqueológicos y paleontológicos realizado en silicona es el de David y Desclaux (1992), recomendado para quienes quieran avanzar en el conocimiento de los moldes en este campo específico.

Además, hay dos artículos útiles. Sin dejar la arqueología, pero, en este caso, en medio subacuático, Zambrano (2000) propone el procedimiento para obtener moldes con silicona empleada bajo el agua, una aplicación que ayuda a entender la versatilidad del moldeo con silicona. Finalmente, para ampliar o complementar el contenido de esta guía, se puede leer el artículo de Aymerich *et al.* (2023) sobre criterios de selección de silicona.

8. REFERENCIAS CITADAS

- Aymerich, X., Yagüe, A., & Garcia, A. (2023). Criterios para la selección de siliconas en la elaboración de moldes. Propiedades físicas, aplicaciones y marcas comerciales. *Unicum*, 22, 199–284.
- David, R., & Desclaux, M. (1992). *Pour Copie Conforme. Les techniques de moulage en Paléontologie, en Préhistoire et en Archéologie Historique*. Serre.
- Horie, V. (2010). *Materials for Conservation. Organic consolidants, adhesives and Coatings*. (2ª Ed), Butterworth Heinemann.
- Jerschow, P. (2001). *Silicone Elastomers*. Smithers Rapra.
- Lorenz, G., & Kandelbauer, A. (2022). Chapter 13 - Silicones. En H. Dodiuk (Ed.), *Handbook of Thermoset Plastics (Fourth Edition)* (pp. 659–677). William Andrew Publishing.
- Navarro Lizandra, J. L. (2011). *Maquetas, modelos y moldes : materiales y técnicas para dar forma a las ideas*. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2012). *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen I. Conceptos fundamentales (2a Edición revisada)*. Universitat de Barcelona.
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2013). *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. Ensayos mecánicos. Ensayos no destructivos*. Universitat de Barcelona.
- Zambrano Valdivia, L. C. (2000). Moldeo subacuático de objetos arqueológicos. *Boletín Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico*, 8(32), 175–182.