

# Obtención de modelos 3D de nuevos prototipos de hisopos nasofaríngeos mediante la tecnología de impresión 3D en materiales biocompatibles

H. Flores Aparicio<sup>1,2</sup>, D. Ojados González<sup>1,2</sup>, J.F. Roca González<sup>2,3</sup>, C. Cinesi Gómez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Servicio de Diseño Industrial y Cálculo Científico (SEDIC), Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, {hector.flores, lola.ojados}@upct.es

<sup>2</sup> Laboratorio de Investigación, Desarrollo e innovación de Tecnologías Biomédicas (LIDiTeB), Hospital General Universitario Santa Lucía - Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, {jroca.gonzalez}@upct.es

<sup>3</sup> Departamento de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España

<sup>4</sup> Servicio de Urgencias, Hospital General Universitario Reina Sofía, Murcia, España, cesar.cinesi{@carm.es}

## Resumen

*Este estudio nace de la necesidad de dar respuesta a la falta de suministro de material sanitario durante las etapas más críticas de la pandemia de Covid-19. En el panorama mundial de escasez de material para hacer frente a la lucha contra la enfermedad de Covid-19 durante la etapa más agresiva de la pandemia desencadenada por la presencia del virus SARS-CoV-2, surgió la imperiosa necesidad de buscar alternativas de fabricación in situ de material requerido tanto para el tratamiento, como para diagnóstico de pacientes, al igual que ocurrió con elementos de seguridad o equipos de protección individual para personal clínico y de a pie. En el caso base de estudio de este trabajo se precisó en concreto de elementos para toma de muestras a analizar mediante técnicas de PCR, ya que hubo una falta de stock a nivel mundial de este tipo de material sanitario. Por este motivo desde muchos centros de investigación e instituciones se emprendió una búsqueda de soluciones a partir de iniciativas públicas y privadas que permitieran obtener elementos eficaces para la toma de muestras con las que determinar el contagio de este virus. Desde el SEDIC de la UPCT, teniendo en cuenta estudios previos, se obtuvieron diseños de hisopos nasofaríngeos como material de último recurso útil para estos fines, que podían ser fabricados mediante técnicas de impresión 3D.*

## 1. Introducción

La aplicación de la impresión 3D en el campo de la medicina, ganó gran relevancia durante la etapa de la pandemia COVID-19, siendo la impresión 3D de hisopos de los prototipos más fabricados mediante esta tecnología.

Los factores que se dieron durante esa etapa y que fomentaron la inclusión de este sistema de fabricación en la cadena de suministros de material de último recurso se debieron a:

- La escasez durante la etapa de pandemia COVID-19 de suministro de material sanitario esencial sobre todo en lo referente a pruebas de diagnóstico, por lo que la impresión 3D se convirtió en ese momento en una posible solución. En el caso de la fabricación de hisopos, esta tecnología, permitió fabricar una gran cantidad de estos elementos en unas pocas horas, lo que supuso un abastecimiento rápido de estos

elementos, sobre todo a nivel local, en aquellas pedanías que contasen con laboratorios, centros de investigación o fabricas con equipos adaptados a la impresión 3D de material biocompatible.

- Los diseños de los hisopos realizados mediante impresión 3D, debían cumplir con una serie de estándares y requisitos que garantizaran la calidad y la seguridad de las pruebas de diagnóstico, por lo que en los momentos de necesidad, fabricantes y entidades de investigación proporcionaron diseños validados y aprobados para ser usados con técnicas de fabricación aditiva mediante impresión 3D.
- Una de las ventajas principales que promovió este movimiento, fue una fuerte presencia de un entorno colaborativo y con resultados de código abierto. Las comunidades de impresión 3D se unificaron para compartir diseños y conocimientos, estableciendo redes de colaboración en proyectos de código abierto para la producción de hisopos y otros suministros de carácter médico. Esto permitió generar una respuesta rápida y efectiva ante la fuerte crisis de suministros presente en aquella época. [1][2][3]

Se ha de tener en cuenta que, aunque la impresión 3D de hisopos y suministros médicos puede ser una solución útil en situaciones de emergencia, en ningún momento reemplaza la fabricación y regularización tradicional de los dispositivos médicos. Las calidades, esterilización y aprobación son aspectos fundamentales que han de garantizar la eficacia y la seguridad de estos elementos en los entornos médicos.

## 2. Materiales

Por lo general, los hisopos que son usados para la realización de las pruebas de diagnóstico COVID-19 están compuestos por diferentes materiales, según las diferentes zonas que tiene por diseño.

- Parte de la varilla o asta: esta parte de los hisopos, por norma general está hecha de polipropileno, un material de tipo polímero plástico que confiere

seguridad en aplicaciones de uso médico, pues el polipropileno es un material flexible y fácil de esterilizar, lo cual lo hace óptimo para esta clase de usos.

- Punta del hisopo: la punta de los hisopos puede diferir en tamaño y forma dependiendo de los fabricantes además de que puede estar fabricadas con diferentes materiales dependiendo de su uso específico. Por ejemplo, para los hisopos de pruebas PRC (Reacción en Cadena de la Polimerasa), en donde se recogen las muestras de la parte posterior de la nariz y la garganta, por norma general se usan materiales para las puntas de tipo poliéster o flocadas con nylon. El uso de estos materiales favorece la retención eficiente de las células y las partículas virales para su posterior análisis tras la extracción.

Durante la etapa de pandemia, en la que se dieron problemas de extrema escasez de materiales, la impresión 3D fue solución para la fabricación de hisopos en las regiones con escasez de suministros. Sin embargo, seguía siendo necesario asegurar que los materiales usados para la fabricación de estos hisopos cumplieren una serie de estándares.

Por estos motivos se optó por la fabricación de los hisopos nasofaríngeos a través de la fabricación aditiva mediante impresión 3D de resinas. En este caso en concreto, mediante el uso de impresoras de resinas biocompatibles.

De entre las resinas biocompatibles, la seleccionada para llevar a cabo la fabricación de estos elementos de diagnóstico, es la conocida como Surgical Guide.

La resina Surgical Guide es un tipo específico de resina usada principalmente en el campo de la odontología para la fabricación de guías quirúrgicas dentales, para llevar a cabo procedimientos quirúrgicos de forma precisa y segura, como es el caso de la colocación de implantes dentales.

Como la resina Surgical Guide está destinada a la fabricación de guías quirúrgicas, esta resina debe cumplir con ciertas características para garantizar su eficacia en los procedimientos quirúrgicos, es por tanto lo que la hace favorable también para la impresión de los hisopos para diagnósticos COVID-19.

Las principales características que aporta esta resina son:

- **Transparencia:** en el caso de su uso en ortodoncia, es un factor importante para el dentista, para que pueda ver la anatomía y las estructuras dentales en la guía, lo que le permite una colocación precisa del implante.
- **Precisión:** la resina debe contar con una alta precisión en la impresión 3D para que los modelos impresos puedan ajustarse perfectamente a las anatomías de los pacientes
- **Biocompatibilidad:** es esencial, puesto que las resinas han de ser seguras para el uso que se les va a asignar y no causen reacciones adversas en los tejidos con los que entren en contacto.

- **Estabilidad:** la resina debe contar con estabilidad y resistencia para soportar el proceso al que se someta el elemento impreso, sin deformarse ni romperse.
- **Facilidad de manipulación:** debe permitir una manipulación y colocación sencilla en la impresora, para asegurar que se fabriquen los elementos deseados de forma segura y eficiente.

### 3. Metodología

El diseño de hisopos para ser fabricados mediante impresión 3D debe considerar una serie de aspectos que garanticen su funcionalidad, seguridad y precisión en la recolección de las muestras usadas para el diagnóstico.

- Se ha de tener en consideración el uso de materiales seguros y adecuados, en este caso en concreto la impresión de hispo con resina Surgical Guide [4].
- Debe considerarse la forma y el tamaño de la punta, factores relevantes en la recolección de muestras y en el caso de hisopos para PCR, la punta debe tener la forma adecuada para llegar a las áreas de la garganta y la nariz de forma efectiva.
- Ha de asegurarse que la punta del hisopo sea estéril para evitar posibles contaminaciones cruzadas entre muestras y mantener la precisión de los resultados.
- La estructura del mango del hisopo deber aportar ergonomía y fácil manipulación hacia el personal sanitario que es el encargado de la realización de la recolección de las muestras.
- Se han de evitar los bordes afilados o superficies rugosas en el diseño para no causar mas incomodidad de la innecesaria sobre el sujeto o paciente durante la realización de la prueba.
- Se han de realizar pruebas y validaciones del diseño para asegurar de que se cumplen con los estándares.
- Por norma general, los diseños de este tipo de hisopos realizados en la etapa de la pandemia COVID-19 se consideraron para su uso a código abierto para que cualquier grupo o persona capaz de trabajar con ellos pudiera contribuir, mejorar y validar su diseño.

#### 3.1. Modelos de referencia

Se parte de una selección de cuatro diseños diferentes de modelos 3D de hisopos para uso médico (Figura 1), destinados a poder ser reproducidos mediante técnicas de impresión 3D, a partir de resinas biocompatibles o aptas para uso médico.

En la selección de estos cuatros modelos de partida, se ha tenido en cuenta, que ya han sido reproducidos en 3D anteriormente, testeados y llevados a su aplicación final con miles de unidades usadas y buenos resultados.

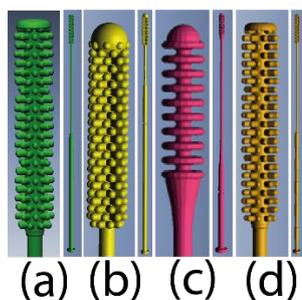


Figura 1. Modelos 3D de hisopos de referencia

Los Modelos de referencia mostrados en la Figura 1 corresponden a :

- (a) Modelo de hisopo Northwell [5]  
Dimensiones 5x5x151,15 mm
- (b) Modelos de la Universidad de Florida (USF) [6].  
dimensiones 5x5x154,34 mm
- (c) Modelo hisopo de Valdecillas [7]  
Dimensiones 6x6x120,694 mm
- (d) Modelo hisopo FormLabs [8]  
Dimensiones 5x5x151,15 mm

### 3.2. Modelos creados en UPCT

Según se fueron testeando los diferentes modelos con sus modificaciones, se fueron extrayendo resultados y feedback sobre el funcionamiento de cada uno de ellos obteniendo de ello resultados en modificaciones como puede ser la modificación del modelo de Valdecillas readaptado para una mejor manipulación del mango:

Modelo de Valdecillas modificado en dimensiones de mango (Figura 2):

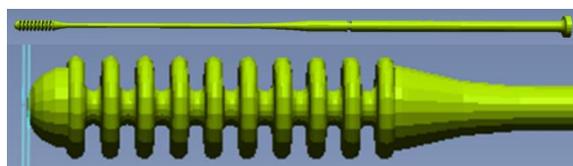


Figura 2. Modificación de hisopo Valdecillas

Dimensiones aproximadas de (6x6x150,69) mm.

O bien con el rediseño del modelo basado en Valdecillas en todas sus dimensiones, con mayor número de elementos de rascado y ensanche del tamaño de la cabeza, aumento de la longitud del mango, dando lugar al modelo que nace de este rediseño modificado:

Modelo UPCT1 (Figura 3):

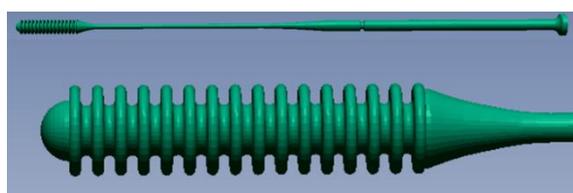


Figura 3. Hisopo UPCT1

Dimensiones aproximadas de (6,05x6,05x150) mm.

Pero no solamente se estuvo trabajando con la modificación y rediseños de hisopos a partir de modelos funcionales ya probados, sino que en paralelo se iban

realizando diseños nuevos que pudieran mejorar la funcionalidad de los hisopos a la hora de la recogida de las muestras.

Las creaciones de estos nuevos diseños se llevaron a cabo mediante el uso del software de diseño SolidWorks, haciendo uso de sus herramientas de diseño y modelado, dando lugar a la generación de croquis con sus acotaciones completas (Figura 4).

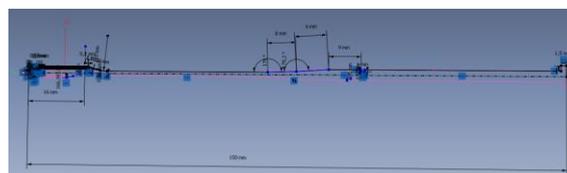


Figura 4. Croquis dimensionado del hisopo UPCT

A partir de estos croquis y con las operaciones de modelado, como la de revolución (Figura 5), se da lugar al modelo sólido, que será el resultado del nuevo modelo de prototipo de hisopo.



Figura 5. Operación de revolución Solidworks

De esta manera, nacen dos nuevos modelos:

Modelo UPCT2 (Figura 6): cabeza trenzada con cavidades.

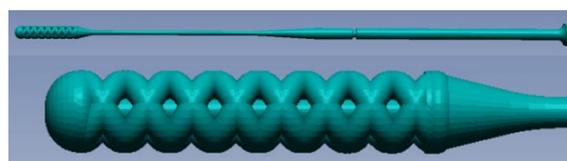


Figura 6. Modelo hisopo UPCT2

Dimensiones aproximadas de (6,04x6,04x150) mm.

Modelo UPCT3 (Figura 7): cabeza doble helicoidal.

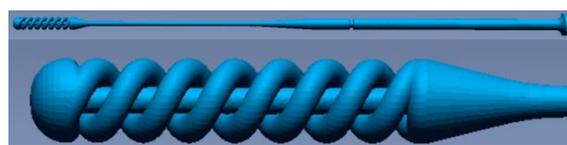


Figura 7. modelo hisopo UPCT3

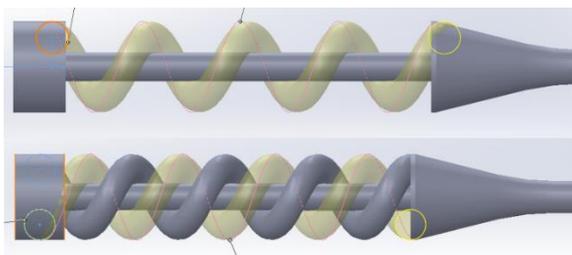
Dimensiones aproximadas de (6,04x6,04x150) mm.

Mediante un cuerpo de revolución apoyado en el diseño antecesor (Figura 8).



Figura 8. Sección bastoncillo hisopo UPCT

Sobre el que se ha generado la nueva cabeza para el hisopo a través del uso de nuevas operaciones desde este punto de partida (Figura 9).



**Figura 9.** Operaciones modelado cabeza de hispo

Nuevamente a través de las pruebas, aparece a partir del modelo de hispo UPCT2, una modificación conocida como: Modificación UPCT2, modelo no impreso con menor número de revolución de hélice para la cabeza de trenza (el cual no llegó a ser impreso, Figura 10).



**Figura 10.** Modificación del modelo UPCT2

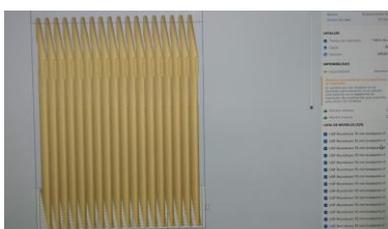
Dimensiones aproximadas de (6,04x6,04x150) mm.

## 4. Resultados

### Fabricación y obtención de los prototipos físicos.

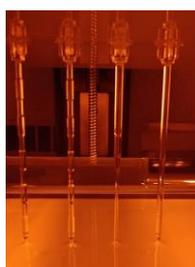
Con los diferentes modelos creados con SolidWorks, se procede a la generación de los archivos de cada uno de los prototipos de hispos en formato stl, necesario para su uso en la fabricación mediante impresión 3D en resina.

Se importa el archivo stl resultado del prototipo al software laminador de la impresora 3D, colocando el modelo sobre la plataforma de impresión en la orientación adecuada y configurando los parámetros óptimos para su impresión (Figura 11).



**Figura 11.** Configuración impresión 3D Form 3B [9]

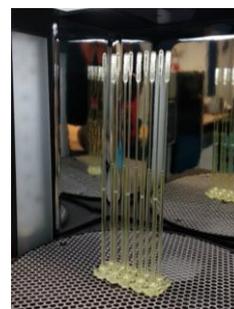
Para la configuración de la resolución de la capa y del tipo de resina, para este caso, se usan los indicados para la resina Surgical Guide, de carácter biocompatible. Configurado todo, se envía la orden de impresión a la impresora 3D (Figura 12).



**Figura 12.** Impresión 3D hispos

Terminada la impresión se pasan los modelos con la bandeja de impresión a la máquina de lavado mediante alcohol isopropílico. Unos 20 minutos de limpieza.

Tras la limpieza, se pasan los modelos al horno de curado, unos 30 minutos a 60 grados centígrados (Figura 13).



**Figura 13.** Curado de hispos tras fabricación

Tras el curado, los hispos quedan correctamente impresos y listos para su utilización.

Como dato para la impresión según el tamaño de la bandeja de la impresora usada, modelo Form 3B, se pueden obtener unos 324 hispos, tardando unas 135 HORAS con un gasto de material en resina aproximado de 246 gramos.

### Agradecimientos

Al Departamento de microbiología del Hospital Reina Sofía de Murcia, a Rosa Blázquez, al SMS, UPCT y todas las personas, grupos de investigación y entidades que lo hicieron posible y que formaron parte del entorno colaborativo con sus pequeñas y grandes aportaciones.

### Referencias

- [1] Página web de 3Dnatives (3D natives: abril 3, 2020) <https://www.3dnatives.com/es/empresas-crean-hispos-pruebas-covid-19-03042020/>
- [2] Página web de 3Printig Design (3D Printing Design: abril 24, 2020) <http://www.3dprintingdesign.es/es/noticia/alianza-para-la-creacion-de-hispos-nasofaringeos-impresos-en-3d-para-la-prueba-covid-19>
- [3] Página web formlabs Cómo ROE Dental Laboratory ha pasado a fabricar suministros médicos para combatir la COVID-19 (Formlabs: mayo 13, 2020) <https://formlabs.com/es/blog/roe-dental-laboratory-fabrica-suministros-medicos-combatir-covid-19/>
- [4] Página web Surgical Guide Resign (Formlabs 2023) <https://formlabs.com/es/materials/dental/#surgical-guide>
- [5] Página web Northwell Health (Northwell 2023) <https://www.northwell.edu/?locale=es>
- [6] Página web repositorio USF Nasal Swab (USF Nasal Swab por Jonathan Ford: mayo 21, 2020) <https://usf.app.box.com/s/wxmlj0r66vp8bzei6o7sur1kq1jr8oli>
- [7] Página web del Hospital Virtual Valdecilla <https://www.hvvaldecilla.es/proyectos/recogidas-de-muestras-hispos/> (Hospital Virtual Valdecilla 2020).
- [8] Página web de Formlabs (FORMLABS 2023) <https://formlabs.com/es/covid-19-response/covid-test-swabs/>
- [9] Página web Form 3B (Formlabs 2023) <https://formlabs.com/es/3d-printers/form-3b/>