

Consideraciones para la fabricación de pantallas de protección facial por impresión 3D - Covid19

Considerations for Making 3D Print Face Shields - Covid19

Natali Olaya-Mira ¹, Luis F. Zapata-Henao ²,
David Volkmar-Velez ³, Juan M. Morales-Gómez ⁴,
Angie Michelle Vivas-Lozano ⁵,
Andrés M. Quiceno Betancourt ⁶

Recibido: 30 de abril de 2020

Aceptado: 7 de julio de 2020

Cómo citar / How to cite

N. Olaya-Mira, L. F. Zapata-Henao, D. Volkmar-Velez, J. M. Morales-Gómez, A. M. Vivas-Lozano, A. M. Quiceno-Betancourt, "Consideraciones para la fabricación de pantallas de protección facial por impresión en 3D - Covid19", *TecnoLógicas*, vol. 23, no. 49, pp. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.22430/22565337.1658>

¹ Msc. en Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación e Innovación Biomédica GI²B, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín-Colombia, nataliolaya@itm.edu.co

² Msc. en Estética, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, luis.henao@colmayor.edu.co

³ Especialista en construcción sostenible, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, david.velez@colmayor.edu.co

⁴ Arquitecto, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, manuel.morales@colmayor.edu.co

⁵ Especialista en evaluación y formulación de proyectos, Facultad de Ciencias de la Salud, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, angie.vivas@colmayor.edu.co

⁶ Ingeniero Mecánico, Jefe Técnico, Improto S.A.S, andres@improto3d.com



Resumen

Uno de los grandes retos que ha traído consigo la crisis mundial provocada por la contingencia sanitaria, debida a la COVID-19, ha sido el diseño, la fabricación y distribución de elementos básicos de protección para el personal médico y sanitario que hace parte de los equipos de salud. Las consideraciones aportadas por la siguiente nota técnica tienen el objetivo de optimizar el diseño y la fabricación digital de pantallas de protección facial de impresión en 3D, creando diademas en ácido poliláctico (PLA) y lámina de cloruro de vinilo polimerizable transparente (PVC). Bajo parámetros antropométricos se determinaron las dimensiones de la diadema, determinando así la distancia para su uso con gafas y tapabocas sin sacrificar la visión periférica del usuario. A través de análisis de elementos finitos, se evaluó el comportamiento del material frente a diferentes esfuerzos. Así se definieron variables óptimas de grosor para altura de capa, ancho de línea, grosor de la pared, densidad de relleno y velocidad de impresión. Se evidencia disminución en los tiempos de fabricación. Por otro lado, el proceso de desinfección se realizó antes, durante y después del proceso de ensamble y posterior empaquetado. La desinfección de las pantallas se realiza por método de inmersión en glutaraldehído al 1 % o 2 %, el cual es un desinfectante de alto nivel y es usado comúnmente en hospitales y dispositivos médicos puesto que tiene propiedades bactericidas, fungicidas, virucidas, tuberculicidas, esporicidas y prionicidas

Palabras clave

Pantallas de protección facial, impresión 3D, optimización gcode, desinfección CoV.

Abstract

A major challenge posed by the global crisis caused by the health contingency due to COVID-19 has been to design, manufacture, and distribute basic personal protective equipment among health professionals. The considerations described in this technical note are aimed at optimizing the design and digital manufacturing of 3D printed face protection shields composed of polylactic acid (PLA) headbands and transparent polymerizable vinyl chloride (PVC) film. The headband dimensions were determined by anthropometric parameters, thus establishing the distance to be used with glasses and mouthpieces without sacrificing the user's peripheral vision. The behavior of the material was evaluated under different stresses using finite element analysis. As a result, the optimal values for layer height, line width, wall thickness, fill density, and print speed were defined. However, these parameters caused a decrease in production times. The face shields were sanitized before, during, and after the assembly process and subsequent packaging by immersion in 1% or 2% glutaraldehyde, which is a high-level disinfectant commonly used in hospitals and medical devices because of its bactericidal, fungicidal, virucidal, tuberculocidal, sporicidal, and prionicidal properties.

Keywords

Face protective shields, 3D printing, gcode optimization, CoV disinfection.

1. INTRODUCCIÓN

Dada la emergencia sanitaria debida a la reciente aparición del COVID-19, la escasez de equipos de protección personal pone en peligro al sector sanitario en todo el mundo.

Los casos de pacientes infectados con el virus son tratados directamente por los médicos, enfermeras y demás asistenciales, que deben usar un equipo de protección personal (EPP), el cual consta, como mínimo, de una máscara quirúrgica resistente a los fluidos, de un delantal desechable de un solo uso, guantes y protección para los ojos si se anticipa la contaminación de sangre y líquidos corporales [1], [2]. Como muchos de estos implementos son desechables se agrava el problema del abastecimiento del EPP, el cual puede ser diseñado y fabricado para ser reutilizado bajo procesos estrictos de esterilización.

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha advertido que la grave y creciente interrupción del suministro mundial de EPP —causada por el aumento en la demanda y por las compras, el acaparamiento y el uso indebido de esos productos como consecuencia del pánico— está poniendo vidas en peligro. Según los modelos realizados por la OMS, se calcula que la industria debería aumentar la producción en un 40 % para satisfacer la creciente demanda mundial [3], [4].

Esta problemática se convierte en una oportunidad para las tecnologías de la industria 4.0, compuesto que la impresión en 3D permite crear dispositivos médicos que ayuden en los procesos de salud [5].

Sin embargo, al ser una tecnología inicialmente concebida para el prototipado de productos [6]–[8] requiere de un minucioso análisis, en cuanto a parámetros de diseño y fabricación para que pueda ser optimizada en la producción en serie. Por ello, en el presente artículo se plantean las consideraciones para la impresión en 3D de Pantallas de Protección Facial (MPP),

como producto final, aportando así a la reducción de los contagios de profesionales de la salud que puedan atender la emergencia sanitaria.

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Las pantallas de protección facial consisten en una lámina de cloruro de vinilo polimerizable transparente (PVC) cortada a láser, unida a una diadema prototipada en ácido poliláctico (PLA) de impresión en 3D y un elástico que permite el ajuste y sujeción a la cabeza[9]. La sección crítica del diseño es la diadema, por su método de manufactura y el contacto directo con la cresta supraorbitaria del usuario. Por ello, para la producción de las diademas se consideraron varios factores:

2.1 Diseño (CAD)

Los parámetros antropométricos determinan las dimensiones de la diadema y los diámetros y perímetros de la cabeza de la población objetivo. No obstante, habría que considerar que algunos potenciales usuarios en el ámbito clínico requieren utilizar gafas y tapabocas junto con el dispositivo, lo cual hace necesario analizar dos diámetros; uno interno, que asegure el ajuste a la cabeza y otro externo, que inmoviliza y delimita una lámina de PVC distanciada del rostro y que asegura el ajuste dimensional del dispositivo. Dimensiones adicionales sugeridas son la altura de la diadema, que debe ser cómoda en la frente y dar firmeza a la lámina de PVC; el grosor, que determina el desempeño y calidad del dispositivo frente a impactos, pero a la vez influencia el peso de la diadema y, por ende, la comodidad de la misma.

La forma de sujeción de la lámina de PVC y del elástico de ajuste son otros factores determinantes en el diseño, puesto que influyen en el desempeño del dispositivo durante tiempos prolongados y

la facilidad de ensamble para limpieza y desinfección.

Es crítico el ajuste de la lámina de PVC para evitar que se desprenda de la diadema durante su uso, además del perímetro que abarca, pues de ello depende el área de protección facial para tener más seguridad en ambientes expuestos al virus, cubriendo por completo del rostro sin perturbar la visualización.

Por último, se hace necesario garantizar la trazabilidad y control sobre los dispositivos, pues se está hablando de su utilización en ambiente clínico. Este seguimiento se logra con la incorporación de alguna marca visible en cada versión del modelo fabricado que permita identificarlo.

2.2 Manufactura (CAE)

La tecnología al alcance es la impresión en 3D, que permite el prototipado de diseños, la cual no se utiliza normalmente para producción en masa porque los tiempos de fabricación no son eficientes.

Sin embargo, por la contingencia sanitaria se ha estado utilizando de esta manera, porque hay gran cantidad de impresoras disponibles, lo cual crea un desafío de encontrar las configuraciones óptimas de impresión y laminado para reducir tiempo de manufactura sin sacrificar las propiedades mecánicas. Estas configuraciones incluyen: altura de capa, ancho de línea, grosor de la pared, densidad de relleno y velocidad de impresión.

El objetivo es optimizar el tiempo de impresión por diadema encontrando la correcta combinación de todas ellas y probar, mediante análisis por elementos finitos, que esas configuraciones no disminuyen las propiedades mecánicas y de calidad de la diadema.

2.3 Uso en ambientes clínicos

Al tratarse de un ambiente clínico, la desinfección es un tema primordial y no solo deben considerarse los protocolos virucidas para el SARS-CoV-2, sino también para todos los otros agentes biológicos que puedan estar presentes en los hospitales, clínicas o cualquier entidad prestadora de salud y, aún más, si se pretende reutilizar las máscaras de protección facial, pues de lo contrario se estaría generando una gran cantidad de desechos, que no es lo recomendado y, mucho menos, en el marco de la actual contingencia sanitaria.

Por ello deben considerarse diseños, materiales y formas de fabricación que faciliten la desinfección con procedimientos y reactivos al alcance de las unidades de desinfección de las entidades de salud.

3. RESULTADOS

Teniendo en cuenta los aspectos descritos anteriormente, y luego de validaciones por parte de un equipo interdisciplinar de profesionales y entidades afines, se concibe el siguiente diseño con sus respectivos parámetros de fabricación y protocolos de desinfección.

3.1 Diseño (CAD)

El diseño definitivo consiste en dos láminas curvadas, unidas entre sí, pero con diámetros diferentes, uno para garantizar el ajuste por medio del elástico a la cabeza y el otro para ajustar la lámina de PVC con bastante diferencia entre ellas para que el uso de accesorios en la cara, como tapabocas o gafas, no interfiera con el desempeño del dispositivo y, a la vez, garantizando mejores propiedades mecánicas (ver Fig. 1A). Adicionalmente, cuenta con unos pines alrededor de todo el perímetro para garantizar la cobertura total del rostro y una visión panorámica.

Estos pines, en la parte final, poseen una esfera de mayor diámetro que el cilindro del cuerpo para garantizar que la lámina de acetato no se salga una vez que se instale (ver Fig. 1B).

También posee unos agujeros en la parte final que permiten asegurar el elástico de forma correcta (ver Fig. 1C).

Se incluyó una marca en el frente de la diadema para mantener la trazabilidad.

3.2 Manufactura (CAM) y Análisis (CAE)

Los parámetros óptimos para la impresión en 3D de este modelo fueron concebidos para el uso de una boquilla de 0.4mm. Así, la altura de capa se ubicó en 0.3 mm, que es el máximo para esta boquilla, pues la recomendación de los fabricantes es tener como máximo una altura de capa que sea equivalente al 75 % del diámetro de la boquilla [10].

Al incrementar el ancho de las paredes y de las líneas, se puede trabajar con una densidad de relleno del 0 %, reduciendo en gran parte el tiempo de impresión.

Por último, se aumentó al doble la velocidad de impresión. Esta modificación es la más significativa para mejorar la eficiencia de impresión, puesto que es una impresión en donde los recorridos son continuos y no requieren saltos,

asegurando una extrusión continua de material.

Las demás configuraciones se detallan en la Fig. 2 para un total aproximado de 1h de impresión, en distintas impresoras con características similares. La mayor parte de esa hora es empleada en la deposición del material en las paredes exteriores (aprox. 22 minutos).

Al implementar una densidad de relleno de 0 % se tenía que verificar por simulación el desempeño mecánico de estas configuraciones. En consecuencia, se hizo un análisis por elementos finitos, utilizando una malla sólida de elementos cuadráticos de alto orden, basada en curvatura con un tamaño mínimo de elemento de 4.4 mm, con las propiedades del PLA, con un límite elástico igual a 30 N/mm², un coeficiente de Poisson de 0.394 y una densidad de 1.02 g/cm³, aplicándole una carga de 20N para el primer caso de esfuerzos frontales y de 2.2 N para desplazamientos internos. En estos análisis se encontró que, al ser hueca, la diadema mostraba mayor flexibilidad frente a esfuerzos frontales y desplazamientos laterales, resaltando el papel de la marca en el frente para mejorar su desempeño (ver Fig. 3).



Fig. 1. Diseño final de la diadema. a). Detalle doble lámina, b). Pines para sujeción de lámina de PVC, c). Agujeros para elásticos. Fuente: elaboración propia.

CALIDAD		PAREDES	
Altura de capa	0.3 mm	Grosor pared	2 mm
Altura capa inicial	0.27 mm	Lineas por pared	3
Ancho linea	0.6 mm	Grosor capa superior	2 mm
Ancho paredes	0.6 mm	Grosor capa inferior	2 mm

VELOCIDAD		REFRIGERACIÓN	
Velocidad impresión	100 mm/s	Velocidad mínima	20 mm/s
Velocidad desplazamiento	180 mm/s		
Velocidad capa inicial	50 mm/s		
Capas velocidad lenta	2		

LLENO	
Densidad lleno	0%

Fig. 2. Configuraciones de impresión y laminado. Fuente: elaboración propia.

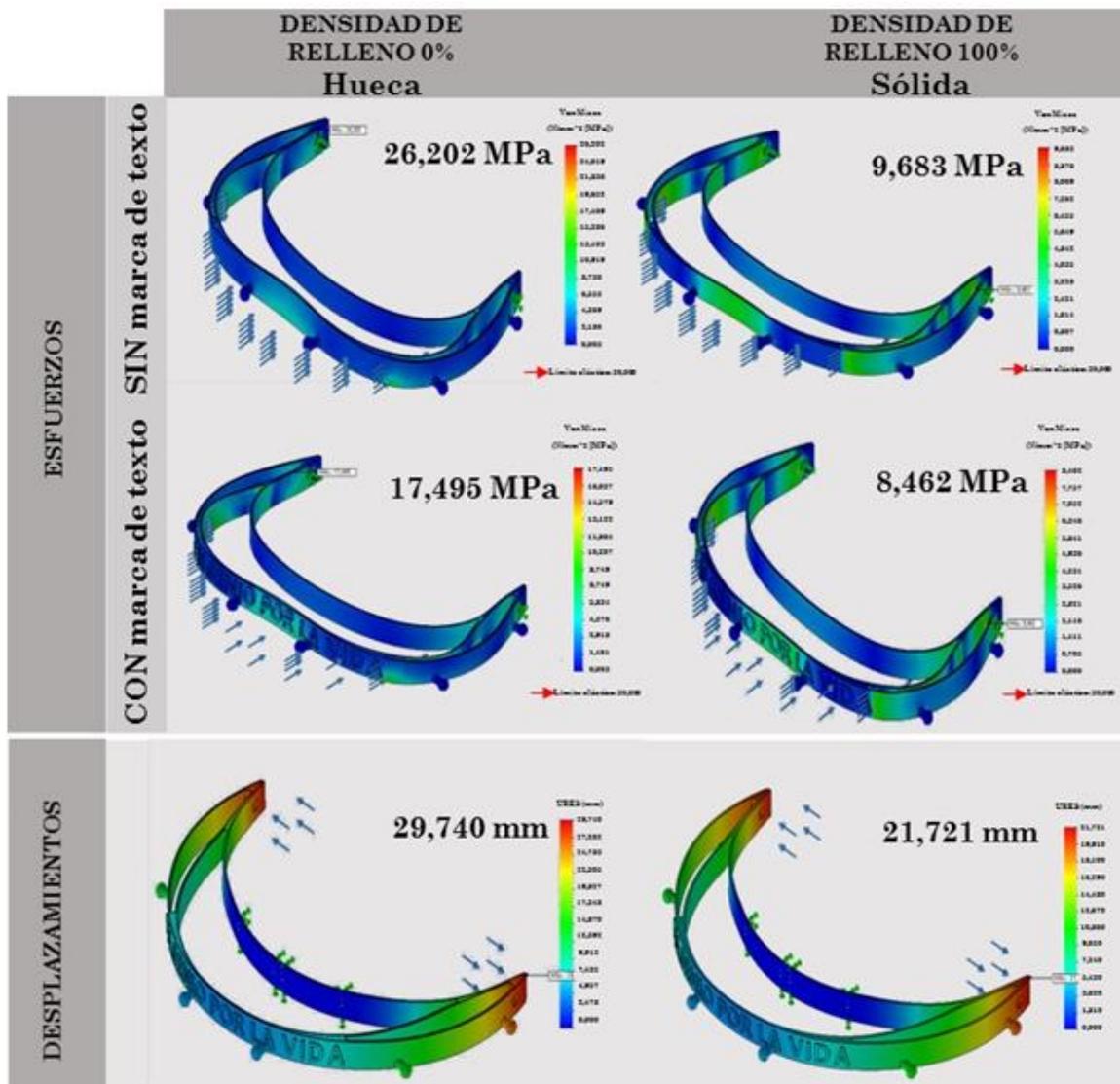


Fig. 3. Análisis por elementos finitos para las diferentes configuraciones en la diadema, hueca, solida, con y sin leyenda. Fuente: elaboración propia.

3.3 Uso en ambientes clínicos

Las diademas fueron sometidas a tres procedimientos: *autoclave de vapor*, donde se programó una esterilización por 15 min a 121 °C., allí se incluyó un bioindicador y de esta manera se comprobó el ciclo de esterilización, el cual fue satisfactorio, aunque el material perdió sus propiedades, quedando cristalizado y expuesto a la fractura; también se utilizó la *inmersión en 1 % o 2 % de glutaraldehído*, durante 7 minutos, lo que resultó en un proceso satisfactorio sin alteraciones en la composición del material; lo mismo ocurrió con la *inmersión en alcohol al 70 %* durante 7 minutos. Esta última también fue usada en la pantalla de PVC, pues conservaba su propiedad de visibilidad, lo que no ocurrió con el glutaraldehído.

3.4 Otras consideraciones

Diferentes análisis se han hecho enfocados a evaluar la visibilidad de las pantallas de PVC o de la comodidad para realizar diferentes procedimientos utilizando dispositivos similares [9], [11], pero este se enfoca más en la utilización y optimización de la tecnología de impresión en 3D para suplir la demanda de EPP.

Todas las validaciones en este estudio y análisis hacen de estas recomendaciones las más adecuadas al considerar la impresión en 3D de diademas para pantallas de protección facial como la primera tecnología disponible en medio de la contingencia sanitaria. Sin embargo, una vez establecida una geometría definitiva, la opción más viable para manufactura en serie es la concepción de un molde para fabricación por inyección de las diademas, que no emplea tanto tiempo y tiene similares características, al ser igualmente métodos de conformado de polímeros.

4. CONCLUSIONES

Dada la necesidad de elementos de protección y la disponibilidad inmediata de tecnologías de manufactura, como la impresión en 3D, se han realizado muchos diseños alrededor del mundo tratando de suplir dicha necesidad. Muchos de estos modelos no son producidos con las configuraciones apropiadas, generando mayores tiempos de impresión y, por ende, amplios plazos de entrega de los dispositivos. Por ello, se hacen necesarias diferentes verificaciones y análisis que, como los mostrados en el presente artículo, permitan optimizar este proceso, en el cual se obtuvo una reducción de 5 veces el tiempo inicial concebido para la impresión.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló en el marco de una iniciativa sin ánimo de lucro llamada “Ingenio por la Vida” apoyada por un grupo de profesionales que fabricaron las pantallas *ad honorem*, el Instituto Tecnológico Metropolitano y la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, a quienes agradecemos el uso de recursos instalados para el desarrollo del dispositivo.

6. CONFLICTOS DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores no declaran conflictos de interés.

7. MATERIAL SUPLEMENTARIO

Planos Diadema.pdf: en este archivo se encuentran cinco vistas de la diadema (isométrico, vista superior, alzado frontal, alzado lateral, detalle de pines). En cada una de ellas se detalla la información métrica de su construcción. Como se trata

de un modelo tridimensional se requiere más de una vista para poder entender cómo es la estructura general. La diadema está compuesta por dos arcos, uno para la frente y uno en el costado exterior que contiene los seis pines de agarre de la pantalla de protección. Este espaciado entre los dos garantiza una capsula para poder tener los demás elementos de protección, como son las gafas monoconcha.

Plano Pantalla.pdf: en este archivo se encuentra la información de planimetría con la cual se puede replicar o reconstruir el proyecto a partir de medidas de longitud, ángulos y radios de cada uno de los componentes de la pantalla. Como la pantalla es un elemento cortado a láser no tiene dimensiones de espesor, ya que este lo asigna el material sobre el cual se va a trabajar. La pantalla cuenta con seis perforaciones para posteriormente poder ensamblarse con la Diadema y en el costado derecho aparece el identificador de Ingenio por la vida. Se estructura en una forma horizontal garantizando el cubrimiento total del rostro del cuerpo del médico.

STL Diadema.stl: este formato de archivo 3D, nativo de la estereolitografía del dibujo asistido por computadora, es el formato comúnmente más usado para la manufactura y la impresión en 3D, debido a que solo describe la información geométrica de la superficie del modelo 3D en una representación binaria, excluyendo otros atributos de los modelos CAD, como los colores, texturas, etc. Este archivo se puede obtener desde los aplicativos de diseño 3D. Una vez elaborado el modelo en el aplicativo de diseño 3D, se puede exportar el diseño al formato de archivo STL, compatible con los aplicativos de cortes por capas, en donde posteriormente se elabora el G-CODE.

GCODE Diadema.gcode: este archivo plano, usando un lenguaje de programación de control numérico por computadora, contiene todas las instrucciones de operación que requiere la

impresora 3D para la impresión de las diademas. Para el caso de las impresoras 3D, las instrucciones van dirigidas a los motores de paso de los tres ejes (x, y, z), el extrusor y las dos fuentes de calor, una ubicada en la cama de la impresora y la otra en la boquilla. Estas instrucciones le dicen a la impresora dónde moverse, a qué velocidad, qué dirección tomar y qué temperatura debe alcanzar.

8. REFERENCIAS

- [1] Rimmer, "Covid-19: What's the current advice for UK doctors?," *BMJ*, vol. 368, no. m 978, pp. 1- 2, Mar. 2020.
<https://doi.org/10.1136/bmj.m978>
- [2] A. Repici *et al.*, "Coronavirus (COVID-19) outbreak: what the department of endoscopy should know," *Gastrointest. Endosc.*, Jul. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.gie.2020.03.019>
- [3] World Health Organization, "La escasez de equipos de protección personal pone en peligro al personal sanitario en todo el mundo," *Comunicado de prensa*, Mar 2020. Disponible: [URL](#)
- [4] World Health Organization, "Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease 2019 (COVID-19). Interim guidance," Feb. 2020. Accessed: 27-Apr-2020. Disponible: [URL](#)
- [5] F. E. Rojas Navarrete; N. Y. Rodríguez Cabrera, "El panorama de la industria 4.0 en el marco de la formación profesional del talento humano en salud," *Rev. Investig. e Innovación en Salud*, vol. 2, no. 9, pp. 99–111, May. 2019. Disponible: [URL](#)
- [6] S. Mueller *et al.*, "WirePrint: 3D printed previews for fast prototyping," in *UIST 2014 - Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Honolulu Hawaii, 2014, pp. 273–280. <https://doi.org/10.1145/2642918.2647359>
- [7] S. O. Onuh; Y. Y. Yusuf, "Rapid prototyping technology: Applications and benefits for rapid product development," *J. Intell. Manuf.*, vol. 10, no. 3, pp. 301–311, Sep. 1999.
<https://doi.org/10.1023/A:1008956126775>
- [8] S. Ishack; S. R. Lipner, "Applications of 3D Printing Technology to Address COVID-19 Related Supply Shortages," *Am. J. Med.*, vol 133, no. 7, pp. 771-773 Jul. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2020.04.002>
- [9] M. Sapoval *et al.*, "3D-printed face protective shield in interventional radiology: Evaluation

- of an immediate solution in the era of COVID-19 pandemic,” *Diagn. Interv. Imaging*, vol. 101, no. 6, pp. 413-415, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2020.04.004>
- [10] H. Brooks; A. Rennie; T. Abram; J. McGovern; F. Caron, “Variable fused deposition modelling - concept design and tool path generation,” *12th Rapid Des. Prototyp. Manuf. Conf.*, Lancaster, 2011, pp. 113–122. <https://doi.org/10.13140/2.1.2280.2887>
- [11] D. H. Ballard *et al*, “3Medical 3D Printing Cost-Savings in Orthopedic and Maxillofacial Surgery: Cost Analysis of Operating Room Time Saved with 3D Printed Anatomic Models and Surgical Guides,” *Acad. Radiol.*, In Press, Corrected Proof, Sep. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.08.011>

9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

- ¹ Conceptualización y validación del dispositivo por análisis de elementos finitos. Redacción y revisión final del manuscrito.
- ² Conceptualización del diseño de dispositivo.
- ³ Fabricación y validación de modelos 3D del dispositivo.
- ⁴ Optimización de la manufactura del dispositivo.
- ⁵ Concepción y aplicación proceso de desinfección.
- ⁶ Validación de parámetros de impresión por medio de análisis por elementos finitos.