

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA BARRERA FACIAL PARA PERSONAL DE SALUD EN EL CONTEXTO DE EMERGENCIA SANITARIA COVID-19

Jimena Alarcón Castro, Gino Ormeño Bustos, Elvert Durán Vivanco, Cecilia Bustos Ávila y Pamela Montoya Cáceres

Resumen

Se presenta el trabajo desarrollado por un equipo interdisciplinario de profesionales de la región del Biobío, Chile, en un contexto de emergencia sanitaria mundial ocasionada por el virus SARS-CoV-2. El objetivo fue diseñar, fabricar y distribuir una barrera facial, como respuesta a la falta de Equipamiento de Protección Personal (EPP) en el sector de la salud. Los periodos de confinamiento repercutieron en dificultades para acceder a EPP esencial, debido a las alteraciones logísticas de transporte e incremento de la demanda. Para entregar soluciones, fue fundamental la coordinada acción de profesionales, capacidades tecnológicas y materiales disponibles. La metodología abordó etapas de identificación de necesidades de confort psicológico y físico del personal de salud, basadas en su experiencia de uso de barreras faciales; identificación de normativa

nacional para EPP; identificación de los recursos materiales y tecnológicos disponibles en la región para el diseño y fabricación de barreras faciales; proceso de ideación en el Laboratorio de Investigación en Diseño de la Universidad del Bío-Bío; validación con usuarios; validación en laboratorio; desinfección y distribución. Los resultados evidencian aspectos de la percepción usuaria, respecto de dos prototipos. Resultados de ensayos de laboratorio acordes a la normativa vigente contribuyen a conocer las prestaciones de protección de la propuesta final. La discusión se refiere a la contribución interdisciplinaria, la integración del usuario en el proceso de diseño y un enfoque prospectivo. Las conclusiones presentan una reflexión sobre la experiencia desarrollada para entregar respuestas efectivas en tiempos complejos.

Introducción

Un brote sin precedentes de neumonía de origen desconocido en la ciudad de Wuhan, China, surgió en diciembre de 2019, posteriormente denominado COVID-19 por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Perteneciente a la familia de enfermedades respiratorias agudas graves, como el síndrome SARS y síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS), el COVID-19 es causado por el SARS-CoV-2, que afecta el tracto respiratorio inferior (Sohrabi *et al.*, 2020). El incremento insostenible de contagios aun a inicios de 2021, ha llevado a los países a tomar una serie de medidas para

frenar su crecimiento; fortaleciendo una vigilancia activa de casos, detección temprana y aislamiento (WHO, 2020a). El virus en cuestión se transmite principalmente a través de gotículas generadas cuando una persona infectada tose, estornuda, espira o habla y son inhaladas por otro ser humano (Cook, 2020). Para evitar el contagio, la OMS sugiere como medida un distanciamiento de tres metros entre individuos y el uso de insumos de protección, que permitan disminuir las probabilidades de contagio, haciendo uso de mascarillas y barreras faciales, gafas, guantes, entre otros, para protegerse de pequeñas partículas suspendidas en el aire (Wang y Yu, 2020; WHO,

2020b). La protección del rostro es fundamental (Lu *et al.*, 2020). Barreras faciales sobre las mascarillas N95 o FFP2 son imprescindibles, puesto que ayudan a aumentar la protección de los seres humanos y la vida útil de las mascarillas (Holland *et al.*, 2020). Este elemento es adecuado para proteger el rostro de salpicaduras de agua, saliva, entre otros fluidos. Debe ser de bajo peso, proporcionar neutralidad óptica, comodidad en el uso prolongado, proteger la mayor parte del rostro del usuario y poseer un bajo precio (Neijhoft *et al.*, 2020).

El uso racional y apropiado de Equipamiento de Protección Personal (EPP) ha sido considerado obligatorio en zonas

susceptibles de transmisión como hospitales, centros asistenciales, transporte público, supermercados y entornos donde los flujos de personas son altos (Greenhalgh *et al.*, 2020). Esta situación supone un aumento de la demanda mundial de EPP, cuya oferta no ha podido dar respuesta suficiente frente a la alta y progresiva demanda (Dave *et al.*, 2020). Durante la actual pandemia, la protección de las personas en condiciones de vulnerabilidad, ha sido eje fundamental en materia de ayuda humanitaria y equidad social (Zheng *et al.*, 2020). El diseño como disciplina tiene la responsabilidad de entregar soluciones para un mayor bienestar, constituyendo

PALABRAS CLAVE / Covid 19 / Diseño de Productos / Emergencia Sanitaria / Equipo de Protección Personal /

Recibido: 12/01/2021. Modificado: 31/03/2021. Aceptado: 26/05/2021.

Jimena Alarcón Castro. Magister en Construcción en Madera, Universidad de Bío Bío (UBioBio), Chile. Doctora en Gestión del Diseño, Universidad Politécnica de Valencia, España. Profesora, UBioBio, Chile. Dirección: Departamento, Arte y

Tecnologías del Diseño, UBioBio. Avda. Collao 1202, Concepción, Chile. e-mail: jimenaal@ubiobio.cl.

Gino Ormeño Bustos. Magister en Construcción en Madera, UBioBio, Chile. Académico, UBioBio, Chile.

Elvert Durán Vivanco. Master en Diseño, University of Technology, Australia. Doctor en Diseño, Pontificia Universidade Católica de Rio, Brasil. Académico, UBioBio, Chile.

Cecilia Bustos Ávila. Magister y Ph.D. en Ciencias de la Madera,

Université Laval, Canadá. Profesora, UBioBio, Chile.

Pamela Montoya Cáceres. Enfermera y Magister en Salud Pública, UBioBio. Académica, UBioBio, Chile.

DESIGN AND MANUFACTURE OF A FACIAL BARRIER FOR HEALTH PERSONNEL IN THE CONTEXT OF HEALTH EMERGENCY COVID-19

Jimena Alarcón Castro, Gino Ormeño Bustos, Elvert Durán Vivanco, Cecilia Bustos Ávila and Pamela Montoya Cáceres

SUMMARY

The work developed by an interdisciplinary team of professionals from the Biobío region of Chile, in the context of a global health emergency caused by the SARS-CoV-2 virus is presented. The objective was to design, manufacture and distribute a facial barrier in response to the lack of Personal Protective Equipment (PPE) in the health sector. The periods of confinement resulted in difficulties in accessing essential PPE, due to transport logistics alterations and increased demand. To deliver solutions, the coordinated action of professionals, technological capabilities and available materials was essential. The methodology addresses stages of identification of needs for psychological and physical comfort of health personnel, based on their experience of using facial barriers; identification of

national regulations for PPE; identification of the material and technological resources available in the region for the design and manufacture of facial barriers; ideation process in the Design Research Laboratory of the Universidad del Bío-Bío; validation with users; laboratory validation; disinfection and distribution. The results show aspects of user perception with respect to two prototypes. Results of laboratory tests in accordance with current regulations contribute to know the protection benefits of the final proposal. The discussion refers to the interdisciplinary contribution, the integration of the user in the design process and a prospective approach. The conclusions present a reflection on the experience developed to deliver effective responses in complex times.

DESENHO E FABRICAÇÃO DE UMA BARREIRA FACIAL PARA FUNCIONÁRIOS DA SAÚDE NO CONTEXTO DE EMERGÊNCIA SANITÁRIA COVID-19

Jimena Alarcón Castro, Gino Ormeño Bustos, Elvert Durán Vivanco, Cecilia Bustos Ávila e Pamela Montoya Cáceres

RESUMO

Apresenta-se o trabalho desenvolvido por uma equipe interdisciplinar de profissionais da região de Biobío, Chile, em um contexto de emergência sanitária global provocada pelo vírus SARS-CoV-2. O objetivo foi desenhar, fabricar e distribuir uma barreira facial, em resposta à falta de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) no setor da saúde. Os períodos de confinamento derivaram em dificuldades para acessar a EPI's essenciais devido às alterações na logística de transporte e incremento da demanda. Para a entrega de soluções, foi fundamental a ação coordenada de profissionais, capacidades tecnológicas e materiais disponíveis. A metodologia abordou etapas de identificação de necessidades de conforto psicológico e físico dos funcionários da saúde, baseadas em suas experiências na utilização de barreiras faciais; identificação da normativa

nacional para EPI's; identificação dos recursos materiais e tecnológicos disponíveis na região para o desenho e fabricação de barreiras faciais; processo de ideação no Laboratório de Investigação em Desenho da Universidade do Bío-Bío; validação com usuários; validação em laboratório; desinfecção e distribuição. Os resultados evidenciam aspectos da percepção do usuário em relação a dois protótipos. Resultados de ensaios de laboratório acordes com a normativa vigente contribuem para conhecer os benefícios de proteção da proposta final. A discussão refere-se à contribuição interdisciplinar, a integração do usuário no processo de desenho e uma abordagem prospectiva. As conclusões apresentam uma reflexão sobre a experiência desenvolvida para entregar respostas efetivas em tempos complexos.

la generación de EPP una de sus funciones prioritarias (Chambo *et al.*, 2020). Se han proyectado soluciones para contextos de salud y entornos cotidianos, considerando que los requerimientos funcionales y semánticos son diversos para cada caso. El coeficiente de vulnerabilidad de un espacio se determina por una ecuación que se obtiene, a través de parámetros de riesgo, probabilidad y consecuencias (MINSAL, 2016). Sin embargo, los efectos que el COVID-19 ha generado en el mundo, se ven influenciados

por una serie de fenómenos impredecibles.

El éxito de unos productos frente al fracaso de otros se debe, entre algunas razones, al buen diseño (Koskinen *et al.*, 2011). Para obtener un resultado óptimo se debe considerar al diseño como variable articuladora, centrado en la creación de propuestas esenciales e ineludibles. Para comprender las interacciones y usabilidad de los dispositivos se ponen en relieve diferentes herramientas y técnicas, así como la valoración perceptual usuaria. Los diseñadores utilizan herra-

mientas y técnicas, que buscan comprender las necesidades, el comportamiento y la percepción de las personas en situaciones teóricamente reales y obtienen respuestas valiosas. Giaccardi y Karana (2015) sugieren cuatro niveles experienciales: sensorial, que impacta los cinco sentidos; interpretativo, que involucra los significados y asociaciones que se le atribuyen al objeto en estudio; afectivo, que se desencadena por pensamientos, creencias y actitudes internas como fascinación o decepción; y performativo, relativo a las

interpretaciones significativamente influenciadas por las anteriores. La relación entre la experiencia del usuario y las características del objeto ha sido explorada en investigaciones de diseño, aun cuando la recopilación de datos fiables y detallados sobre los usuarios previstos se vuelve cada vez más crítico para los profesionales del diseño en circunstancias de pandemia (Yang *et al.*, 2019). Los estudios perceptuales proporcionan una oportunidad para proyectar la interacción futura entre usuario y producto, facilitando una

experiencia multisensorial positiva (Nagamachi, 2011). Para medir tales impresiones, cuestionarios auto-aplicados y grupos focales virtuales constituyen hoy una herramienta sistémica que traduce las respuestas de los usuarios en conceptos o parámetros de diseño tangibles, para nuevas e innovadoras soluciones con el propósito de una mejor aceptación de los productos (Guo *et al.*, 2020). Algunos autores se han referido a la elaboración de un marco empírico, a través de un estudio transcultural que explica la influencia de las características del usuario y los tipos de productos (Kim y Christiaans, 2016). Estos datos constituyen un aporte para prever y reducir las experiencias negativas, ya que proporcionan una descripción estructurada de cuándo y cómo los usuarios con características particulares se podrían ver enfrentados a obstáculos para conseguir una experiencia satisfactoria (Hassenzahl, 2007, 2010). En este ámbito, conocer las apreciaciones usuarias adquiere especial relevancia, ya que supone valoraciones hacia un producto con altos requerimientos de satisfacción usuaria y efectividad.

Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico para el diseño, producción y distribución de una barrera facial para personal de salud se desarrolló mediante cooperación interdisciplinaria académica. Profesionales de diseño industrial, de ingeniería y la salud, lograron una comunicación efectiva mediante trabajo remoto con reuniones virtuales por plataforma Zoom. El trabajo interdisciplinario quedó definido por las aportaciones de diseñadores industriales que proyectan un producto que integra tecnologías digitales para un proceso de fabricación más rápido (Thomas *et al.*, 2013), así como métodos de estudios de percepción usuaria. La ingeniería contribuyó con conocimientos respecto de los materiales pertinentes, pero también disponibles. El área salud es el

nexo para establecer y mantener retroalimentación de parte del personal de salud, tan fundamental en el proceso de ideación y estudio de propuestas. La motivación radica en la identificación de una alta demanda de barreras faciales en la zona geográfica en cuestión y una carencia de oferta, a lo que se busca una solución viable con los recursos humanos, tecnológicos y materiales disponibles en la región. Se estudian los requerimientos técnicos principales para el rendimiento de una barrera facial en establecimientos de salud, así como solicitudes básicas de confort psicológico y físico de los usuarios. La barrera facial busca entregar protección, visibilidad y comodidad.

Material y Método

Las etapas desarrolladas para el diseño, fabricación y distribución de la barrera facial fueron:

a) Identificación de necesidades de confort psicológico y físico del personal de salud, basadas en su experiencia cotidiana de uso de barreras faciales. El procedimiento muestral, definió la realización de encuestas online y grupos focales virtuales mediante plataforma Zoom, a 30 personas encargadas de atención en recintos de salud de la región del Biobío, Chile. Se consideró una muestra no probabilística intencionada, abarcando áreas de

desempeño convencionales como son: Grupo 1- personal de la salud abocado a recepciones de pacientes en consultorios y urgencias de hospitales (8 participantes); Grupo 2- personal administrativo encargado de la recepción de pacientes (8 participantes); Grupo 3- médicos (7 participantes) y enfermeras (7 participantes) de atención en Unidades de Cuidados Intensivos. En ambas actividades de levantamiento de información participaron 15 mujeres (50%) y 15 varones (50%), con un promedio de edad de 42 años (25-65; D.E.= 18,9 años). Para las encuestas se diseñó un cuestionario de aplicación online (Tabla I), con opciones cuantificables con un apartado que incluyó datos demográficos de los participantes y preguntas estructuradas. El grupo focal se realizó aplicando las preguntas de esa tabla, buscando mayor información relativa a los aspectos señalados en la misma.

b) Identificación de normativa para EPP vigente en Chile. De acuerdo a la norma chilena oficial o lo que dicte el Ministerio de Salud, las barreras faciales usadas en ambiente laboral deben cumplir con la normativa vigente. Según decreto supremo número 18, el Instituto de Salud Pública de Chile (2012) ha determinado que la norma internacional UNE 168 es la que aplica. Para este caso específicamente

la norma UNE EN 168:2002 referida a Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo no ópticos.

c) Identificación de los recursos materiales y tecnológicos disponibles en la región para el diseño y fabricación de barreras faciales. Durante el periodo de confinamiento, el acceso a insumos fue complejo. La ideación y fabricación de propuestas se realizó acorde a instalaciones y accesibilidad a centros proveedores de materiales de la Universidad del Bío-Bío, organización a la que pertenecen los académicos a cargo de la iniciativa. La cortadora láser fue empleada para la elaboración de plantillas utilizadas como guía para la fabricación de prototipos de baja fidelidad, tales como maquetas de partes y piezas, prototipos de visualización de las ideas en desarrollo. La troqueladora digital se empleó para realizar pliegues de la lámina que conforma la zona traslúcida de la barrera, facilitando la obtención de prototipos de alta fidelidad. El material empleado es policloruro de vinilo (PVC), en formato de 200µm, disponibles en formatos comerciales de 220x280mm y de 220x330mm; posee buenas características de aceptación a métodos de esterilización como irradiación gamma, rayo de electrones, óxido de etileno y otros por inmersión, como propone FABTEC (2020).

TABLA I
CUESTIONARIO SOBRE PARÁMETROS DE CONFORT PSICOLÓGICO Y FÍSICO, RESPECTO DE BARRERAS FACIALES EN USO

Confort psicológico					
¿Siente que la barrera facial en uso...	1	2	3	4	5
...proporciona seguridad?					
...proporciona armonía a su aspecto?					
Confort físico					
...proporciona comodidad?					
...proporciona comodidad después de 2 horas de uso?					
...proporciona comodidad después de 6 horas de uso?					
...cubre el perímetro de su rostro sin dañar su visibilidad por empañamiento?					

Se emplea una escala Likert de 1 a 5, donde 1: muy de acuerdo, 2: de acuerdo, 3: indeciso, 4: en desacuerdo, 5: muy en desacuerdo. Fuente: Proyecto ERGO, UBioBio.

Piezas menores como sistemas de ajuste y sujetador de mascarilla, se realizaron mediante fabricación aditiva (FDM) con impresión 3D, usando acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) por su bajo costo (Figura 1).

d) Proceso de ideación en el Laboratorio de Investigación en Diseño de la Universidad del Bío-Bío. Bocetos y prototipos (Milton y Rodger, 2013) permitieron iterar en un proceso de diseño que definió soluciones en tiempos acotados e integró a los usuarios en las decisiones. Dos prototipos de alta fidelidad fueron sometidos secuencialmente a estudios usuarios. La propuesta final fue evaluada acorde a la norma vigente para conocer sus estándares de protección. El proceso de ideación se realizó mediante bocetos, prototipos de baja fidelidad para la evolución formal y prototipos de alta fidelidad para los estudios de usuarios. Igualmente, software de modelación Rhinoceros y equipos de corte láser, troqueladora digital e impresión 3D asistieron el proceso de prototipado.

e) Validación con usuarios. Se realizó en dos etapas de la fase de ideación. Se aplicó un cuestionario que contiene preguntas para determinar el nivel de comodidad y seguridad, asociado a la usabilidad de la barrera facial. Las prestaciones de confort psicológico y físico que se pudieron mejorar mediante diseño fueron la relación objeto frente, visibilidad, pliegue del mentón, fijación, pliegue

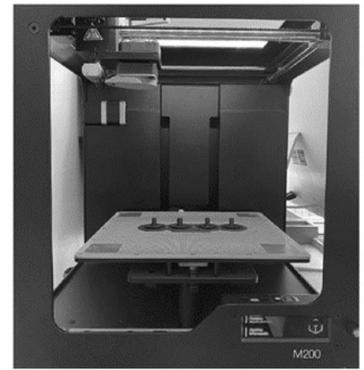
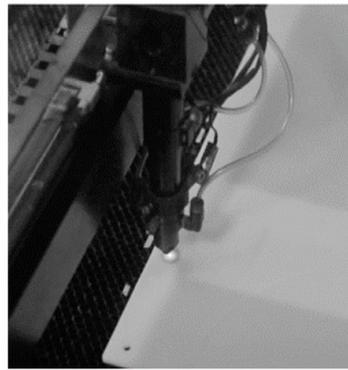


Figura 1. Equipos empleados en el proceso de ideación y fabricación. De izquierda a derecha: cortadora láser, troqueladora digital, impresora 3D. Fuente: proyecto ERGO, UBioBio.

solapa lateral y cantos inferiores (Figura 2).

f) Validación en laboratorio acorde a la normativa. Esta se realizó en el único laboratorio autorizado en Chile por el Ministerio de Ciencia para certificar barreras faciales. Se implementaron los siguientes puntos normativos: a) Protección de Zonas Protegidas (punto normativo 10.2.), que indica una guía de las zonas de la cara donde protege acorde a cumplimiento de dimensiones mínimas (Figura 3). El principio del método consiste en poner una barrera facial sobre una cabeza de ensayo y evaluar la zona protegida observando el montaje, mientras la cabeza de ensayo rota alrededor de sus ejes horizontal y vertical. Si el borde es biselado debe ser más ancho y más alto para cubrir el punto h (Figura 3A). b) Protección Contra Gotas y

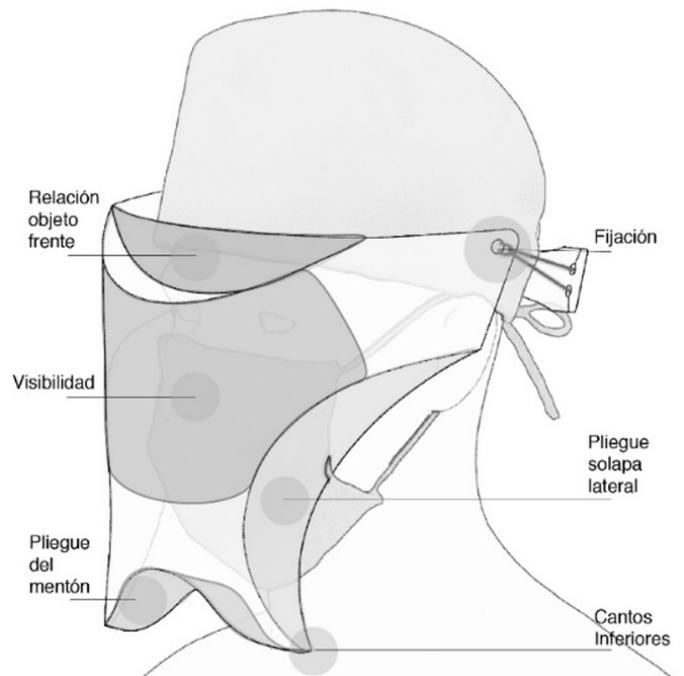


Figura 2. Zonas mejorables por diseño. Fuente: proyecto ERGO, UBioBio.

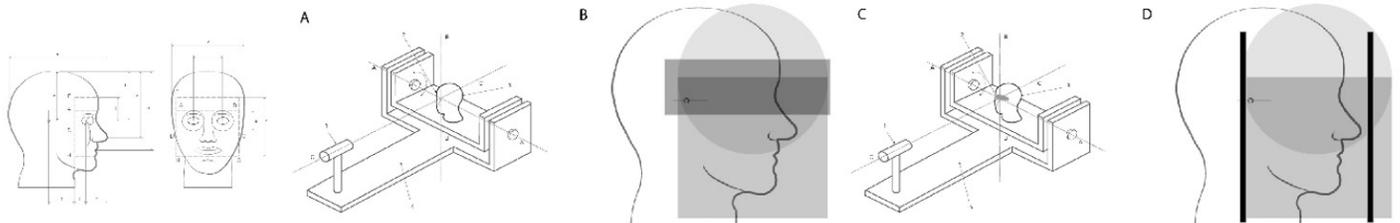


Figura 3. De izquierda a derecha: prefiguración de cabeza de ensayo, representaciones gráficas de los cuatro puntos evaluados (A, B, C, D). Fuente: Proyecto ERGO, UBioBio.

Salpicaduras de Líquidos (punto Normativo 12). Ensayo de protección contra salpicaduras de líquidos para barreras faciales. Se aplica el procedimiento indicado en el apartado 10.2 para determinar si cubre el área ocular definida. Papel secante blanco de dimensiones suficientes para sobresalir al menos 20mm alrededor de todo el contorno del protector de los ojos sometido al ensayo. Sobre el papel secante se marcan dos círculos de $52 \pm 1\text{mm}$ o $48 \pm 1\text{mm}$ de diámetro, con una separación entre sus centros de $64 \pm 1\text{mm}$ o $54 \pm 1\text{mm}$ respectivamente, que se corresponden con las zonas oculares de la cabeza soporte (Figura 3B). c) Valorización

Campo Visual (punto Normativo 18). El diseño de la barrera no tiene que intervenir con la visión de quien la usa. El campo visual debe medirse con un perímetro junto con la cabeza de ensayo apropiada definida en el capítulo 17. El protector ocular debe montarse de manera que los dos ejes de rotación A y B y el eje óptico C se corten en la superficie frontal de uno de los ojos a la distancia interpupilar. La radiación está proporcionada por un láser de $1 \pm 0,5\text{mm}$ de diámetro en la dirección del eje C (Figura 3C). d) Evaluación de la protección lateral (punto Normativo 19). Debe considerarse que la protección lateral es satisfactoria si la barrera

facial impide que el extremo de la varilla toque las zonas de impacto de la cabeza de ensayo. Estas zonas son superficies de 20mm de anchura con un radio de 10mm delimitando la zona de choque desde los puntos de impacto frontal y lateral (Figura 3D).

g) Desinfección y distribución. Previo a la distribución, las barreras faciales son sometidas a un proceso de desinfección según estipula FABTEC (2020). El proceso es el siguiente: 1) Lavarse las manos, ponerse guantes y mascarilla. 2) Evitar el contacto de los guantes con la cara. 3) Preparar una dilución de hipoclorito de sodio al 0,1% (20cc de cloro 5% por litro de agua).

4) Sumergir las piezas durante 2 a 3min. 5) Extraer las piezas con pinzas o guantes (si no se ha tocado nada). 6) Introducir todas las piezas en una bolsa de impermeable que no haya sido utilizada previamente. La logística de distribución se realiza, mediante coordinación con los recintos beneficiados por la donación de barreras faciales, la Universidad del Bío-Bío y la Municipalidad de Concepción, para una entrega eficiente y oportuna.

Resultados

Barrera facial

En la Figura 4 se muestra sintéticamente el proceso de ideación que se desarrolló hasta obtener la propuesta final. El prototipo 1 describe un recorrido perimetral con una aproximación muy cercana a la fisonomía del rostro, mediante pliegues. En la zona de la frente ofrece hermeticidad, generando contacto directo entre la barrera y la piel. En el recuadro A se muestran bocetos y representaciones virtuales realizadas en CAD/CAM para visualización de la forma. En B se muestra el diseño manual de la plantilla que posteriormente es fabricada en cortadora láser. Esta sirve como guía para la elaboración de prototipos de baja fidelidad de prueba y error. Piezas de ajuste a la cabeza son realizadas mediante prototipos en materiales provisorios como papel y cartón antes de ser fabricados en la impresora 3D. En el recuadro C se muestra la propuesta que concluye esta etapa y es sometida a estudio de percepción usuaria. El prototipo 2 consiste en un rediseño del prototipo 1, considerando los resultados de estudios usuarios. Los principales cambios son una simplificación del borde de la barrera facial y la integración de una pieza para sujeción de mascarilla fabricada en impresora 3D. Las barreras faciales son usadas como elemento de protección complementaria a la mascarilla, permitiendo que la transmisión viral a través del aire

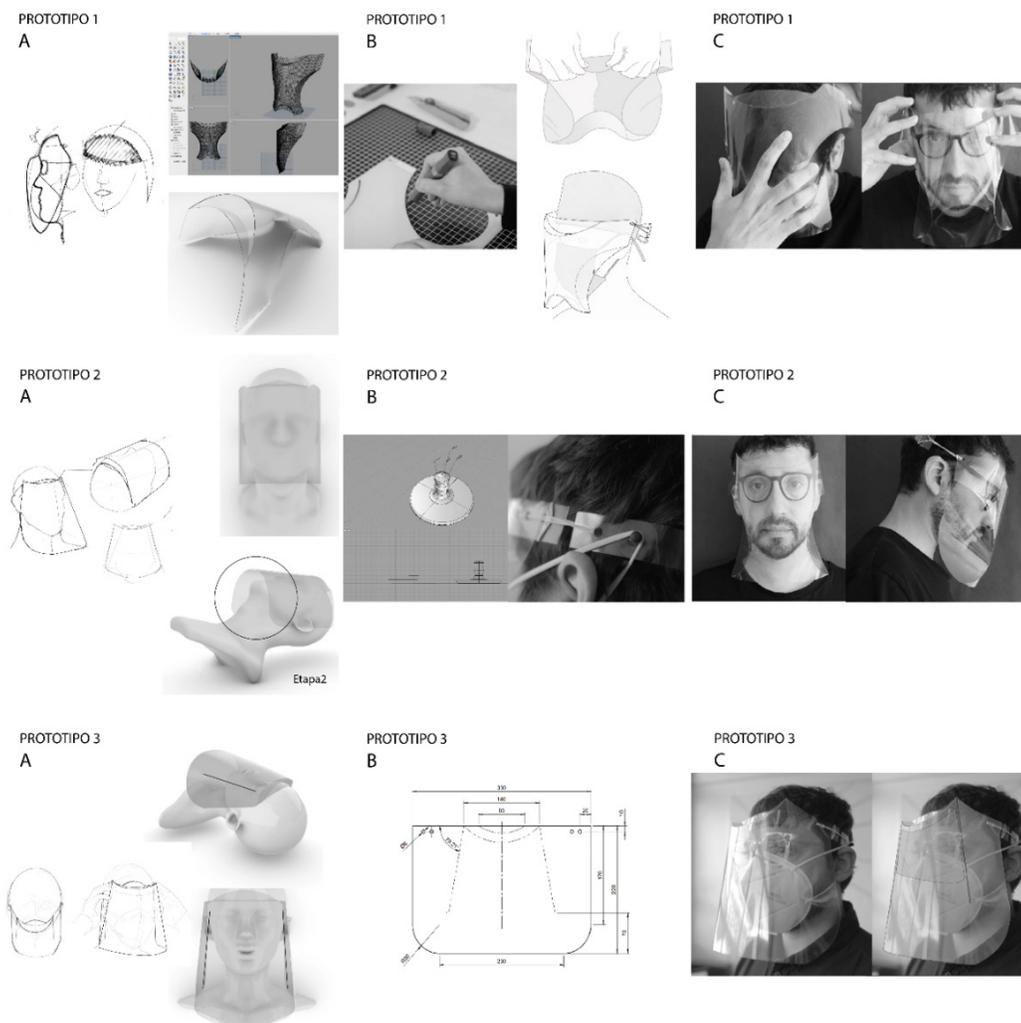


Figura 4. Imágenes del proceso de diseño sintetizadas, referidas a los prototipos 1, 2 y 3 de la propuesta final.

disminuya. El prototipo 3 presenta un equilibrio en cuanto a la hermeticidad por distancia a la fisonomía del rostro; es decir, no tan ajustado como para favorecer el empañamiento, pero tampoco tan distante como dejar expuestas las zonas del mentón y laterales.

Estudios en usuarios

Se realizaron estudios de a) percepción del personal de la salud respecto de barreras faciales en uso, y b) percepción del personal de la salud respecto del prototipo 1, prototipo 2 y propuesta final, mediante encuesta autoaplicada a los cuatro grupos de estudio señalados arriba. Los resultados expresados en la Tabla II, evidencian que la mayoría de los participantes, está muy en desacuerdo respecto de las prestaciones psicológicas y funcionales de las barreras en uso, que consisten básicamente en una lámina de plástico traslúcido y un cintillo de plástico rígido que encaja en la cabeza. Es necesario mejorar la usabilidad, generando mejores ajustes para otorgar optimizar índices de comodidad. Se requiere incrementar la valoración respecto de la protección, considerando mejores niveles de lectura del contorno del rostro, para otorgar una cobertura más amplia y eficiente. Se infiere una falta de conformidad generalizada de los usuarios respecto de las barreras en uso, porque el ajuste al cráneo

genera presión, causando daño físico luego de horas de uso y un consiguiente cansancio emocional. En cuanto a los prototipos evaluados, para el prototipo 1 los resultados señalan que un 40% de los participantes evalúa positivamente el aspecto comodidad, otorgando la puntuación máxima de 5. Un 23,3% evalúa la comodidad de la barrera facial con un 3, es decir, les parece medianamente cómoda. Las zonas a mejorar señaladas de manera prioritaria por los participantes son en un 40% los cantos inferiores; un 32% la relación frente barrera facial; un 16% menciona el pliegue del mentón; mientras un 8% se refiere a las solapas laterales. Solo un 4% de los encuestados cree que la visibilidad de la barrera facial debe mejorar. Respecto del aspecto seguridad, un 43,3% selecciona el nivel 4, es decir, medianamente alto. Un 40% le otorga puntuación máxima 5. Solo un 16,7% de los participantes sitúa su respuesta en nivel 3. En el apartado destinado a observaciones, los participantes señalan que el tamaño de la barrera podría ser menor. Otro aspecto mencionado a desfavor de la comodidad es la necesidad de diseñar un nuevo sistema de sujeción, ya que las personas con cabello largo presentan dificultades, tales como enganches y tirones al momento de quitarse la barrera facial. Con esta información se procede a integrar mejoras al diseño.

Para el prototipo 2 se repitió el procedimiento de levantamiento de información. Los resultados señalan que un 82% de los participantes evalúa positivamente la comodidad de la barrera facial, otorgando la puntuación máxima 5. Un 18% evalúa la comodidad de la barrera con un 3, es decir, les parece medianamente cómoda. Respecto de las zonas a mejorar, un 5% de los participantes menciona la zona correspondiente a los cantos inferiores; un 11% señala que la zona correspondiente a la relación frente barrera facial, un 6% menciona la zona correspondiente a pliegue del mentón, un 8% se refiere a las solapas laterales. Respecto del aspecto seguridad, un 11,3% selecciona el nivel 4, es decir, medianamente alto. Solo un 3% de los participantes, sitúa su respuesta en nivel 3.

Complementariamente, se realizaron grupos focales vía plataforma Zoom con los participantes. Permitieron conocer que el tamaño de la barrera facial tiene una percepción positiva, que el nuevo sistema de sujeción es cómodo y seguro debido a la fijación efectiva, pero sin imponer presión que genere dolor en el perímetro del cráneo.

Resultados de ensayos de laboratorio

La barrera fue evaluada positivamente en los puntos fundamentales que conforman el

ensayo. Los resultados emitidos por el laboratorio se expresaron con los términos ‘cumple’ o ‘no cumple’. Se trata de un EPP recomendado para los grupos 1 y 2 definidos anteriormente. Para uso por los grupos 3 y 4, se estipula el uso de EPP certificado, proceso que podrá seguir la barrera facial propuesta.

Discusión

La experiencia tuvo como objetivo contribuir con respuestas efectivas ante la falta de EPP en el sector de la salud en el contexto de emergencia sanitaria COVID 19. Un aspecto fundamental es el trabajo colaborativo e interdisciplinario, con aportes de especialidades del diseño, ingeniería y salud, para la obtención de resultados esperados. La integración de usuarios en el proceso de ideación contribuye a una toma de decisiones más acertada, fortaleciendo el diseño y contribuyendo a mejores indicadores de satisfacción psicológica y física. Desde el punto de vista del proceso de ideación y elaboración de prototipos, las tecnologías digitales cumplen un rol relevante como acelerador, ofreciendo la oportunidad de complementarse para obtener respuestas formales precisas y económicas. La trilogía ‘interdisciplina, integración de usuarios y tecnologías digitales’ aportó aspectos positivos y complementarios para la obtención de la propuesta final.

TABLA II
RESULTADOS CUESTIONARIO SOBRE DE CONFORT PSICOLÓGICO Y FÍSICO, RESPECTO DE BARRERAS FACIALES EN USO

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Confort psicológico				
¿Siente que la barrera facial en uso...				
...proporciona seguridad?	55% de acuerdo	33% de acuerdo	80% muy de acuerdo	82% muy de acuerdo
...proporciona armonía a su aspecto?	77% en desacuerdo	55% en desacuerdo	75% indeciso	78% indeciso
Confort físico				
...proporciona comodidad?	75% en desacuerdo	53% en desacuerdo	56% en desacuerdo	67% en desacuerdo
...proporciona comodidad después de 2 horas de uso?	76% en desacuerdo	77% en desacuerdo	77% muy en desacuerdo	73% muy en desacuerdo
...proporciona comodidad después de 6 horas de uso?	92% en desacuerdo	93% en desacuerdo	87% muy en desacuerdo	83% muy en desacuerdo

Fuente: Proyecto ERGO, UBioBio.

Finalmente, la pandemia exige medidas preventivas entre las que se encuentra el uso adecuado de EPP. La barrera facial es uno de los elementos más recomendados por la OMS, ya que brinda protección al área facial y a membranas mucosas de nariz y boca. Los materiales poliméricos han sido los más utilizados para la fabricación de barreras faciales, entre ellos, ácido poliláctico (PLA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), tereftalato de polietileno de glicol (PETG), tereftalato de polietileno (PET) y láminas de cloruro de vinilo polimerizable transparente (PVC) (Isinnova, 2020; Airwolf3d, 2021; Evolusi, 2021; Nexa 3D, 2021). Se requiere conocer muy bien las propiedades del material para proyectar mejoras en aplicaciones médicas, en las cuales las tecnologías digitales puedan participar. Son varios los aspectos a considerar para ello, por ejemplo, aspectos de diseño, seguridad, desinfección. La incorporación de materiales a nivel de nanoescala, tales como nanopartículas de cobre o plata en EPP, está siendo muy bien valorado, ya que actúan como agentes biocidas, contribuyendo a la incorporación de propiedades antimicrobianas en los polímeros (Comunicaciones DIQBM, 2020). El PLA es un polímero biodegradable, producido a partir del ácido láctico, derivado de recursos renovables, además económico, higienizable y fácilmente procesable (Zuluaga, 2013). El ABS es un polímero fuerte, por lo que presenta buena resistencia, sin embargo, no es biodegradable; este polímero requiere de altas temperaturas para los procesos de modelado por deposición fundida (FDM), es decir, entre 230-260°C, en comparación con el PLA, cuyas temperaturas de proceso van entre 190-230°C. En este contexto, el ABS es más susceptible a sufrir contracción durante el enfriamiento. El PETG, es un termoplástico con gran resistencia al impacto, rígido, transparente, lavable y esterilizable, lo cual que lo hace un material preferido para ser utilizado en barreras

faciales; posee mayor resistencia a la temperatura que el PLA, lo cual puede favorecer los procesos de esterilización, pero no es biodegradable (Oth *et al.*, 2020). La elección de materiales para futuras producciones de barreras faciales en el contexto de la pandemia COVID 19, requiere de una toma de decisiones en torno a costos, biodegradabilidad, facilidad para el diseño de geometrías, incorporación de nanomateriales para otorgar propiedades elevadas en términos de resistencia a empañarse, resistencia bacteriana (González-Henríquez *et al.*, 2019), entre otras. Los materiales usados en la barrera facial propuesta fueron elegidos de acuerdo a disponibilidad y contexto de confinamiento, sin embargo, para futuros desarrollos en que las condiciones cambien, nuevas consideraciones podrán ser integradas.

Conclusiones

La integración de los usuarios en el proceso de diseño de la barrera facial entregó una perspectiva concreta y real respecto de sus necesidades, contribuyendo a abordar el diseño de un producto que llegaría a corto plazo como donación a usuarios de la región del Biobío. Se hacía imprescindible integrar a los futuros destinatarios en el proceso de ideación, recogiendo una oportunidad única para la colaboración en la toma de decisiones referida a la concepción de la barrera facial. Pocas veces los equipos de investigadores tienen la oportunidad de diseñar teniendo tan de cerca a los futuros usuarios. El trabajo interdisciplinario fue un factor relevante para la efectividad del proceso de diseño, reuniendo especialidades complementarias. El diseño, la ingeniería y salud, aportaron desde sus especialidades el conocimiento y experiencia necesaria para cubrir el desafío de diseñar, fabricar y distribuir cuatro mil barreras faciales. Por último, la colaboración entre organizaciones públicas, fue relevante para llevar a cabo una cadena

logística de donaciones acertada, favoreciendo al sistema de salud público de la región del Biobío.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Concurso Extraordinario 'DESAFÍO UBB: COVID-19', de la Dirección de Innovación, Vicerrectoría Investigación y Posgrado, UBio-Bío, Chile; al proyecto ERGO Barrera Facial I+D 20-63 del Laboratorio de Investigación en Diseño; a Karin Saavedra, Red FABTEC, al Laboratorio Lictex y a la Municipalidad de Concepción.

REFERENCIAS

- Airwolf3D (2020) *3D Printer Filament*. <https://airwolf3d.com/product-category/filament/> (Cons. 30/12/2020).
- Chambo Y, Trujillo R, Vera D (2020) *Diseño y Fabricación de Caretas Faciales Ergonómicas para el Uso del Personal Médico Asistencial de Primera Línea de Atención para Cuatro Instituciones Hospitalarias del Departamento del Huila ante la Emergencia Covid-19*. Tesis. Universidad Cooperativa de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/20296> 45 pp.
- Cook T (2020) Personal protective equipment during the COVID-19 pandemic –a narrative review. *Anaesthesia* 75: 920-927. <https://doi.org/10.1111/anae.15071>
- Dave M, Seoudi N, Coulthard P (2020) Urgent dental care for patients during the COVID-19 pandemic. *Lancet* 395(10232): 1257.
- DIQBM (2020) El potencial de las nanopartículas de cobre en la lucha contra el coronavirus. Universidad de Chile. <http://ingenieria.uchile.cl/noticias/165620/potencial-de-las-nanopartículas-de-cobre-en-la-lucha-contra-covid-19> (Cons. 30/01/2020).
- Evolusi 3D (2020) *Evolusi 3D Fight Covid-19*. <https://www.evolusi3d.com/evolusi-3d-fight-covid-19.html> (Cons. 22/12/2020).
- Giaccardi E, Karana E (2015) Foundations of materials experience: An approach for HCI. *Proc. of CHI 2015*. ACM Press. Seoul, Sur Korea. pp. 2447-2456.
- González-Henríquez C, Sarabia-Vallejos M, Rodríguez Hernández J (2019)

Antimicrobial polymers for additive manufacturing. *Int. J. Molec. Sci.* 20: 1210. 27 pp. <https://doi.org/10.3390/ijms20051210>

- Greenhalgh T, Chan X, Khunti K, Durand-Moreau Q, Straube S, Devane D, Ireland C (2020) What is the efficacy of standard face masks compared to respirator masks in preventing covid-type respiratory illnesses in primary care staff? Centre for Evidence-Based Medicine. Universidad de Oxford, RU. 8 pp.
- Guo F, Qu Q, Nagamachi M, Duffy V (2020) A proposal of the event-related potential method to effectively identify kansei words for assessing product design features in kansei engineering research. *Int. J. Indust. Ergon.* 76: 102940.
- FABTEC (2020) <https://fabtec.cl/> (Cons. 01/03/2020).
- Hassenzahl M (2007) The hedonic/pragmatic model of user experience. En Law E, Vermeeren M, Hassenzahl M, Blythe M (Eds.) *Towards a UX manifesto*. COST. Brussels, Belgium. pp. 10-14.
- Hassenzahl M (2010) Experience design: Technology for all the right reasons. *Synthesis Lect Human-Centr. Informat.* 3: 1-95. <https://doi.org/10.2200/S00261ED1V01Y201003HCI008>
- Holland M, Zaloga D, Friderici C (2020) COVID-19 Personal Protective Equipment (PPE) for the emergency physician. *Visual J. Emerg. Med.* 19: 100740. <https://doi.org/10.1016/j.visj.2020.100740>.
- ISPC (2012) Guía para la Selección de Control de Protección Ocular y Facial, versión 1. Instituto de Salud Pública de Chile. 97 pp. <file:///C:/Users/pci11/Desktop/bancos%20cr%C3%A9ditos%20hipotecarios/Gu%C3%ADa%20Ocular%20y%20Facial%20Final%2010%2012%202012.pdf> (Cons. 30/12/2020).
- Isinnova (2020) *Easy-Covid19 ENG*. <https://www.isinnova.it/easy-covid19-eng/> (Cons. 28/12/2020).
- Kim C, Christiaans H (2016) The role of design properties and demographic factors in soft usability problems. *Design Stud.* 45: 268-290.
- Koskinen I, Zimmerman J, Binder, T, Redstrom J, Wensveen S (2011) *Design Research Through Practice: From the Lab, Field, and Showroom*. Elsevier. 224 pp.
- Lu C, Liu X, Zhi-fang J (2020) 2019-nCoV transmission through the ocular surface must not be ignored. *Lancet* 395(10224). 39 pp. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30313-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30313-5)

- Milton A, Rodgers P (2013) *Métodos de Investigación para el Diseño de Producto*. Blume. Barcelona, España. 193 pp.
- MINSAL (2016) Manual de métodos de análisis de riesgos y consecuencias. Ministerio de Salud. Chile. https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2016/12/Manual_An%C3%A1lisis-de-Riesgo-y-consecuencias-2016.pdf (Cons. 28/12/2020).
- Nagamachi M (Ed.) (2011) *Kansei / Affective Engineering*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. 64 pp.
- Neijthof J, Viertmann T, Meier S, Söhling N, Wicker S, Henrich D, Marzi I (2020) Manufacturing and supply of face shields in hospital operation in case of unclear and confirmed COVID-19 infection status of patients. *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.* 46: 743-745.
- Nexa 3D (2020) 3D printing leader Nexa3D launches service to deliver NexaShield PPE to frontline healthcare and other mission critical workers. <https://nexa3d.com/3d-printing-leader-nexa3d-launches-service-to-deliver-nexashield-ppe-to-frontline> (Cons. 27/12/2020).
- Oth O, Dauchot C, Orellana M, Glineur R (2020) How to sterilize 3D printed objects for surgical use? An evaluation of the volumetric deformation of 3D-Printed Genioplasty Guide in PLA and PETG after sterilization by low-temperature hydrogen peroxide gas plasma. *Open Dent. J.* 14: 1874-2106.
- Sohrabi C, Alsafi Z, O'Neill N, Khan M, Kerwan A, Al-Jabir A, Iosifidis C, Aghad R (2020) World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *Int. J. Surg.* 76: 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2020.02.034>
- Thomas R, Kass A, Davarzani L (2013) How digital technologies are changing the way we work. *Outlook, J. High Perform. Bus.* 3: 1-8.
- Wang Q, Yu C (2020) Letter to editor: Role of masks/respirator protection against 2019-novel coronavirus (COVID-19). *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 41: 746-747.
- WHO (2020a) Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide. World Health Organization. Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/news-room/detail/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide> (Cons. 03/03/2020).
- WHO (2020b) Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): Interim guidance, 19 March 2020 WHO/2019-nCoV/IPC_PPE_use/2020.2. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- Yang B, Liu Y, Liang Y, Tang M (2019) Exploiting user experience from online customer reviews for product design. *Int. J. Inf. Manag.* 46: 173-186. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.12.006>
- Zheng S, Yang L, Zhou P, Li H, Liu F, Zhao R (2020) Recommendations and guidance for providing pharmaceutical care services during COVID-19 pandemic: A China perspective. *Res. Soc. Admin. Pharm.* 17: 1819-1824. doi: 10.1016/j.sapharm.2020.03.012
- Zuluaga F (2013) Algunas aplicaciones del ácido poli-l-láctico. *Rev. Acad. Colomb. Cs. Exact. Fis. Nat.* 37(142): 125-142.