

## IMPLEMENTACIÓN DE BIOIMPRESIÓN EN EL ÁREA DE SALUD DEL ECUADOR

Rodríguez Daniela<sup>1</sup>., Fuentes Mauricio<sup>2</sup>., Flor Omar<sup>3</sup>., Correa Melissa<sup>4</sup>., Villalobos Andrea <sup>5</sup>

daniela\_0304@hotmail.es, mauricio.fuentes@uce.edu.ec

omar.flor@udla.edu.ec, melissa.correa@udla.edu.ec

acvillalobos@uce.edu.ec

<http://orcid.org/0000-0002-9452-8046>, <http://orcid.org/000-0003-4036-7280>, <https://orcid.org/0000-0002-3455-5982>/<http://orcid.org/0000-0002-1022-2833>, <https://orcid.org/000-0002-3552-9030>

<sup>1,2,5</sup>Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Diseño Industrial, Quito-Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Ingeniería Industrial, Quito-Ecuador.

<sup>4</sup>Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Ingeniería en Biotecnología, Quito-Ecuador

Recibido (07/02/20), Aceptado (24/02/20)

**Resumen:** Se presenta un estudio de factibilidad de implementación de tecnología de bioimpresión 3D, presentando aspectos de interés para instituciones de salud. Este tipo de proyectos promueven mejoras en la calidad de vida de los ciudadanos, ofreciendo soluciones efectivas y eficaces a las diferentes dolencias de piel, más específicamente a los problemas de quemadura. El trabajo fue realizado en el Hospital Eugenio Espejo de la ciudad de Quito, Ecuador, por su importante demanda médica en la zona metropolitana. Este trabajo aborda el desarrollo de la tecnología necesaria para llevar a cabo el servicio de bioimpresión, tomando en cuenta los aspectos económicos y de factibilidad y relevantes para su implementación a fin de que este servicio sea óptimo y responda adecuadamente a las necesidades sociales en los problemas de salud asociados.

**Palabras Clave:** Bioimpresión 3D, quemadura, piel sintética, bioingeniería.

## IMPLEMENTATION OF BIOPRINTING IN THE HEALTH AREA OF ECUADOR

**Abstract:** A feasibility study of the implementation of 3D bioprinting technology is presented, presenting aspects of interest to health institutions. These types of projects promote improvements in the quality of life of citizens, offering effective and effective solutions to different skin ailments, more specifically to burn problems. The work was carried out at the Eugenio Espejo Hospital in the city of Quito, Ecuador, for its important medical demand in the metropolitan area. This work deals with the development of the technology necessary to carry out the bioprinting service, taking into account the economic and feasibility aspects and relevant for its implementation so that this service is optimal and responds adequately to the social needs in the problems associated health.

**Keywords:** 3D bioprinting, burn, synthetic skin, bioengineering.

## I. INTRODUCCIÓN

Los avances en el desarrollo en técnicas de bioimpresión, van de la mano de la producción de biomateriales, tratándose así de dos líneas de investigación que van en paralelo [1]. En la actualidad esta tecnología ya revoluciona las soluciones en el ámbito de la medicina [2]. Algunos de los campos en los que más ha impactado este tipo de desarrollos a nivel mundial, corresponden a la medicina regenerativa, trasplante de órganos, abordaje de tumores, logrando así influir sobre sus tratamientos y manejo de patologías. Además, dado el potencial que existe en esta área y su impacto en el futuro de la medicina, se recomienda fomentar profesionales en el área así como grupos de investigación para su futuro empleo [3].

A fin de estudiar y comprobar la necesidad de la implementación de la bioimpresión en el ámbito de la salud en el Ecuador, se tomaron en cuenta inicialmente, los hospitales de mayor afluente de pacientes durante el año 2017. En base a la referencia ecuatoriana [4], la mayoría de los doctores especialistas en dermatología laboran en la región sierra del país y la unidad de salud pública que brinda servicios de mayor complejidad médica, es el hospital Eugenio Espejo ubicado en la ciudad de Quito-Ecuador. En esta institución labora la mayor cantidad de personal relacionado con el ámbito de la dermatología [4], los que fueron considerados para este estudio, y a través de los cuales se dio a conocer los fundamentos, criterios relevantes y demás aspectos de importancia para la implementación y uso de la bioimpresión 3D en el servicio de salud.

Para dar soporte al estudio, se presentan, además, estadísticas sobre los casos presentados en el año 2018 en el hospital Eugenio Espejo de la ciudad de Quito-Ecuador [5]. Sobre la pertinencia de implementar este tipo de tecnologías, se ha evaluado en la unidad de dermatología, la demanda de piel sintética presentada y si estas pueden obtenerse mediante tecnología de bioimpresión 3D. Posterior a ello, se analiza la sostenibilidad y rentabilidad económica que representaría la inversión en este tipo de servicio en el área de la salud.

Este estudio se desarrolla en torno a encuestas realizadas a profesionales del área de la dermatología y biomedicina así como profesionales afines a estas disciplinas. Este trabajo, en su segunda sección o desarrollo, describe el estado de arte de estas tecnologías, análisis de la demanda, descripción del proceso de obtención de piel sintética y descripción de tecnología necesaria. En la sección III sobre metodología, se explica cómo se obtuvo la información, consideraciones y criterios empleados en el uso de datos y presentación de información. La sección IV presenta los resultados del análisis

y estudio de factibilidad de implementación, finalizando con sus conclusiones.

## II. DESARROLLO

La piel humana es uno de los órganos sensoriales más grandes y extendidos en la estructura humana, protege al resto de órganos de los factores externos [6], por ello, además, en su interacción con el entorno, es susceptible de sufrir heridas, quemaduras, desgarros y múltiples afectaciones. Mediante la bioimpresión 3D, se puede fabricar piel humana con rapidez y versatilidad de diseños [7]. Esta tecnología ayuda a cubrir la demanda en el ámbito de los trasplantes de órganos, ya que en la actualidad estos pueden fabricarse a pedido e inclusive comercializarse [8].

Investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid y el Hospital General Universitario de Valencia en España han diseñado y construido una bioimpresora 3D que puede generar piel humana funcional y de utilidad para trasplantes. El Centro de impresión 3D de Singapur en la Universidad de Tecnología de Nanyang, ha logrado producir piel que incluye pigmento natural [8]. En estos procesos se emplean células del propio paciente, que son cultivadas en laboratorio a fin de evitar acciones de rechazo en trasplantes [9]. En algunas entidades europeas, este proceso de generación de piel impresa está en período de aprobación para la utilización en casos de quemaduras y enfermedades de la piel [10]. La marca Poietis ya comercializa sus equipos para usos en investigación clínica e ingeniería de tejidos, y pretende en poco tiempo, equipar a los hospitales con sus dispositivos [11].

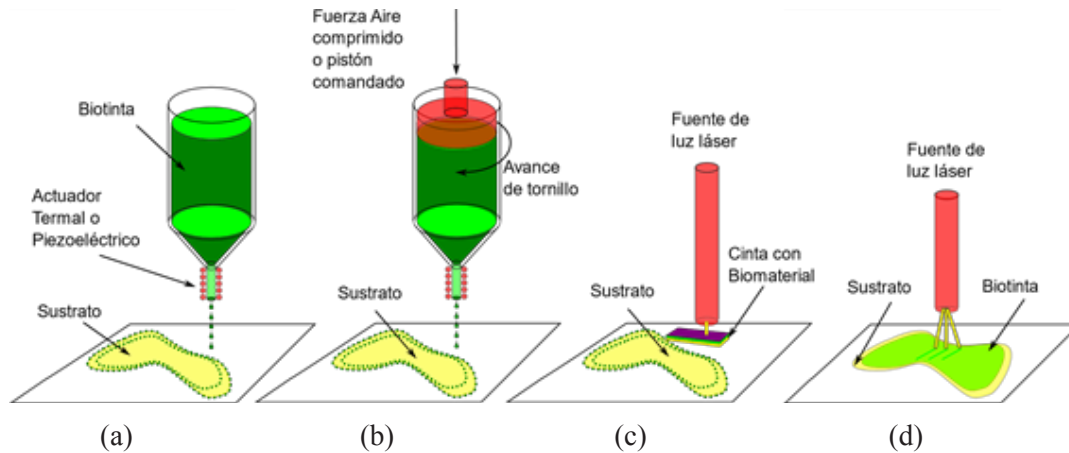
En el Ecuador no se presentan desarrollos e investigaciones sobre bioimpresión, sin embargo, dado que algunas entidades europeas ya se encuentran en proceso de aprobación y difusión de esta tecnología, es evidente que en poco tiempo será incorporada en múltiples sistemas de salud del mundo, es justificable, por tanto, una evaluación de factibilidad de implementación que exponga las necesidades del país en esta temática para estudios y decisiones posteriores.

### A. Técnicas de bioimpresión

Existen cuatro técnicas que destacan en la bioimpresión: Inyección, extrusión, láser y estereolitografía. La bioimpresión de inyección de tinta (figura 1.a), deposita por capas una biotinta sobre un hidrogel o placa de cultivo, existiendo dos variantes: térmico y piezoeléctrico. El hidrogel cumple el papel de soporte para el tejido, además de rellenar espacios vacíos entre los tejidos [12]. En la bioimpresión por extrusión (figura 1.b), el biomaterial es depositado con empleo de un cilindro so-

metido a presión o ya sea por tornillo. Se adiciona el material en capas obteniéndose una estructura 3D [13]. La bioimpresión asistida por láser (figura 1.c), emplea tres componentes: fuente de luz láser, cinta de material biológico y material receptor. La evaporación del biomaterial, producida por el láser, es atrapada por el

biopolímero receptor [14]. La técnica de estereolitografía (figura 1.d), consiste en solidificar un fotopolímero capa por capa mediante un haz de luz. Emplea biotinta y aún se encuentra en desarrollo dadas algunas restricciones del método y efectos nocivos [15].



**Figura 1. Técnicas de Bioimpresión, (a) Por inyección, (b) Por extrusión. (c) Con luz láser y (d) Estereolitografía.**

### B.Equipos para Bioimpresión 3D

Las bioimpresoras buscan crear piel humana que sean por completo “funcionales”. Es decir, la piel debe ser apta para estudios con fines investigativos, prueba de productos y trasplantes para pacientes con diferentes afecciones.

La empresa BioDan Group ofrece una bioimpresora capaz de replicar la estructura natural de la piel. Incluyendo la capa externa, epidermis y la dermis. Esta última capa se compone por fibroblastos, lo cual facilita la producción de colágeno. Esta empresa implementa biotintas, un equipo a base de jeringas con componentes biológico como proteínas, factores de crecimiento y estructuras que dan forma al tejido [16].

La empresa 3D Cultures [17] ofrece modelos de bioimpresora 3D denominadas Tissue Scribe. Estos modelos implementan jeringas con diferentes volúmenes (1ml, 2 ml, 3 ml), estas pueden ser usadas a la vez o de forma individual, lo cual permite modular el volumen que se requiera según la finalidad.

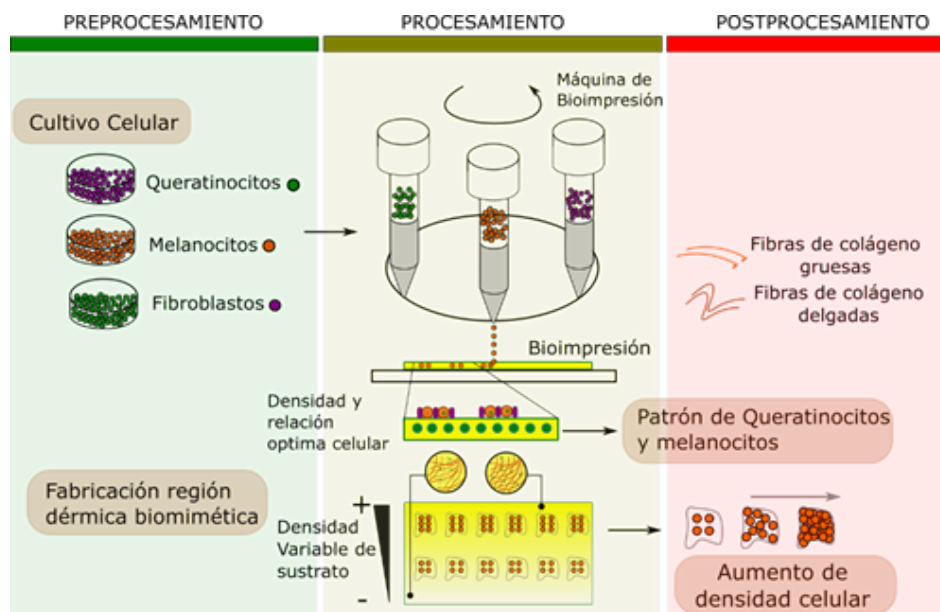
La empresa Cellink [18] incluye entre sus modelos el BIO X, un equipo que incorpora 3 cabezales de impresión diferente, esta característica permite cambiar la técnica o utilizar diferentes biomateriales. Puede traba-

jar con cualquier tipo de célula, tanto endoteliales, cepas o fibroblastos.

Uno de los equipos más completos es ofrecido por Envision TEC [19]. Se basa en aplicar presión a una jeringa de aire comprimido para modelar tejidos, órganos, entre otros. Es un equipo de alta precisión en el plano XY, que logra cubrir espectros de hasta 0,1 micrometros

### C.Proceso de Bioimpresión 3D

La bioimpresión se compone por tres fases principales: Preprocesamiento, consiste en una fase de planificación previa a la producción del tejido. Es importante en esta fase tener presente las imágenes como Tomografía Computarizada (CT), Imagen de Resonancia Magnética (MRI), entre otras que aporten información de la lesión. La siguiente fase es el procesamiento, se incluyen todos los pasos para la construcción y fabricación del tejido. El método más recomendable es la extrusión, dado que facilita combinar diferentes tipos de biomateriales. La fase final se denomina postprocesamiento, esta incluye los pasos previos para que el tejido bioimpreso esté completo y listo para su uso in vivo (figura 2) [20].



**Figura 2. Descripción de procesos para la producción de muestras de piel humana.** La figura 2 describe los procesos asociados a las tres fases presentadas anteriormente, se identifican pasos previos y posteriores el proceso de bioimpresión según la referencia [21].

**D. Demanda de piel bioimpresa en el Ecuador**

Según los análisis de encuestas realizadas a cirujanos plásticos especializados en injertos, quemaduras y enfermedades cutáneas, en la ciudad de Quito, en el Hospital Eugenio Espejo, se registró una demanda anual en el año 2017 de aproximadamente 144 pacientes con quemaduras de gran tamaño. Tomando en cuenta que esta técnica sería relativamente nueva en el país y que según datos establecidos, el número de pacientes que requerirían piel bioimpresa no aumentan significativamente. Estos datos son considerados en un solo hospital, por lo tanto en el país este número debe aumentar según los centros de salud, demostrando la necesidad y relevancia de este tipo de equipos para el país [22]. La tabla I recopila el área de piel bioimpresa que se requiere para cubrir el mercado objetivo en los años respectivos [22].

**Tabla I. Demanda de área de piel bioimpresa entre los años 2007 y 2011.**

Año	Penetración de mercado	Piel impresa (fragmentos de 169 cm <sup>2</sup> )	Mercado Objetivo
1	1,00%	300	136
2	1,15%	345	156
3	1,30%	390	177
4	1,45%	435	197
5	1,60%	480	218

**E. Tecnología requerida**

Como parámetro inicial se requieren células del paciente o donante. Estas se pueden obtener mediante una biopsia para realiza el cultivo de forma artificial en un laboratorio. Las células multiplicadas se reparten en jeringas denominadas biotintas (figura 3). Cada una de estas jeringas tiene un color que representa células con diferente función, como queratinocitos, fibroblastos, plasma y nutrientes. También se requiere un software específico para enviar las órdenes a la bioimpresora [23].



**Figura 3. Biotintas con jeringas.**

Cada una de las jeringas tiene un contenido diferente. El color naranja contiene células de la dermis, el color amarillo plasma, el verde diferentes nutrientes y el color azul contiene células de la epidermis.

### III.METODOLOGÍA

Para tener idea de la competencia técnica en áreas relacionadas a la producción de piel humana por métodos de bioimpresión, se acudió a la base de información de la SENESCYT, de donde se obtuvo la cantidad de profesionales y especialistas en las áreas de dermatología, ingeniería industrial, biomedicina e ingeniería biomédica.

Además, se entrevistaron a profesionales del área de cirugía y dermatología del Hospital Eugenio Espejo de Quito-Ecuador, a fin de obtener los requisitos que deberían tener las máquinas para producir piel humana, las cantidades requeridas para suplir las afectaciones presentadas en esta entidad de salud, y aspectos de manejo técnico de la producción y manipulación de piel humana y tecnologías relacionadas.

Se realizó un estudio de los componentes tecnológicos requeridos en todo el proceso y se determinó la capacidad productiva de la línea a fin de determinar su factibilidad de implementación considerando además el personal requerido para el funcionamiento y mantenimiento de estas tecnologías.

Se concluye con un estudio económico y financiero que dará idea de la rentabilidad del empleo de esta técnica en la ciudad de Quito.

### IV.RESULTADOS

#### A.Capacidades del personal

Respecto a las capacidades del personal para implementar la técnica de bioimpresión 3D de piel se requieren de profesionales en las siguientes áreas: Nanotecnología (17), Biotecnología (151), Ingeniería del tejido (4), modelado 3D y medicina computacional (7), Cirugía plástica (200), Biología molecular y celular (26), Biología de la piel, Dermatología (427), Biomedicina, Ingeniería de equipos biomédicos(2). La cantidad de profesionales disponibles en Ecuador por área de conocimiento se indica entre paréntesis.

El personal requerido para la implementación de la técnica de bioimpresión 3D es variado, entre los que se puede mencionar: Nanotecnología, Biotecnología, Ingeniería de tejido, escaneado y visualización, modelado 3D, medicina computacional, cirugía plástica, biología molecular y celular, biología de los materiales, biología de la piel, dermatología, biomedicina e ingeniería de equipos médicos, para los que en el Ecuador no se cuenta con todas las especialidades mencionadas, sin embargo los especialistas existentes son suficientes para aplicar el proceso de bioimpresión en los hospitales, logrando equipos de al menos siete especialistas

básicos y necesarios: dos Bioingenieros, un doctor en Biología Molecular y Celular, un Ingeniero Tisular, un Ingeniero en Biotecnología y dos Biomédicos.

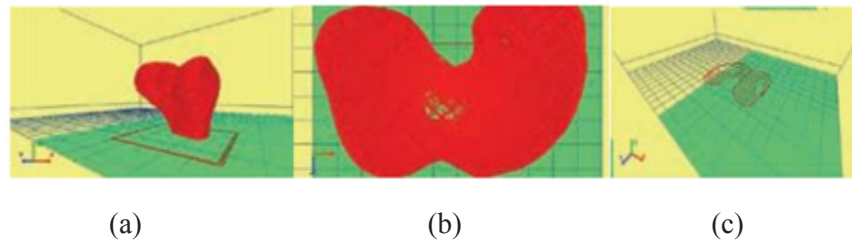
#### B.Características de los equipos para el proceso de bioimpresión.

Las características deseables que debe tener una bioimpresora se listan a continuación:

- Libertad en movimiento para permitir la deposición del material biológico en superficies no planas.
- Resolución y precisión de alta calidad para permitir la deposición de soluciones de material biológico con la calidad necesaria
- Movimiento a alta velocidad de las jeringas para permitir la fabricación rápida de Tejidos
- Debe ser capaz de suministrar diversas soluciones de biotinta simultáneamente
- Facilidad de uso para los operadores con poca experiencia
- Tamaño ideal que permite la colocación bajo una bioseguridad estándar para una bioimpresión en condiciones estériles
- Facilidad para esterilizar la máquina
- Automatización completa sin manipulación del usuario
- Capacidad de adaptarse rápida y fácilmente para permitir a los operadores modificar y expandir la instrumentación para uso multiuso

Se han estudiado las especificaciones técnicas de 3 tipos de Bioimpresoras: CELLINK BIO X [24], REGEMAT BIO V1[25] y REGEN HU [26], en base al volumen de impresión, velocidad y programa de manejo (CAM amigable), la bioimpresora Bio V1 es la mejor opción, ya que ofrece mayores velocidades, haciendo que el proceso sea más rápido. Otra de sus características es que incluye un programa para el diseño de estructuras propias y otro para el funcionamiento de la impresora, la misma cuyos componentes son similares a las de una impresora 3D convencional, salvo por el uso de biotintas y por su sistema móvil de intercambio de extrusores, su proceso se describe en la figura 4 según [26].

Con el uso de un software de Manufactura asistida por ordenador, se puede realizar la previsualización del objeto en formato \*.STL, como se muestra en la figura 4 y se pueden configurar los parámetros de las jeringas de inyección como tipo de relleno, altura de las capas y velocidad de flujo.



**Figura 4. Proceso de Bioimpresión. (a) Visualización de la trayectoria del código G, (b) visualización por capas y (c) mallado interno.**

### Necesidades de bioimpresión 3D de piel humana.

Se tiene que el 83% de los cirujanos del hospital Eugenio Espejo, realizan 12 injertos aproximadamente al mes, los cuales no son solo afectados por quemaduras, sino también enfermedades o infecciones cutáneas graves. El 17% de los cirujanos realizó 15 injertos de piel al mes.

### Demanda de pacientes con quemaduras grandes

La demanda de pacientes con quemaduras o enfermedades de la piel es de 12 pacientes al mes, dando un total de 144 pacientes atendidos anualmente.

### Análisis de la demanda de piel impresa

Para analizar la proyección futura se toman en cuenta distintas variables, entre ellas se tiene el incremento anual de pacientes del 1% y la demanda actual. Se realiza una proyección para 5 años, a partir de la implementación inicial del proyecto. En un período de 5 años desde el 2007 al 2011 se tuvieron en total 680 pacientes. Se proyecta que en cinco años se atiendan 218 pacientes por año.

### Ingeniería de Procesos

En la Figura 5 se observa el diagrama de flujo de

proceso que se requiere para producir la piel mediante el método de bioimpresión 3D. Además se detalla el tiempo requerido para producir 169 cm<sup>2</sup> de piel y los equipos utilizados en cada operación.

### Dimensionamiento de la capacidad de producción de piel.

Se necesitan 250.000.000 células para obtener un metro cuadrado de piel. El doble de esto (500.000.000 y 600.000.000) es requerido para cubrir el cuerpo entero. Estas células se extraen a partir de una biopsia del paciente, obteniendo alrededor de 10.000 células y se cultivan en un laboratorio para lograr que se multipliquen hasta al menos 250.000.000 de células. Por tanto, se requieren 2 bioimpresoras para satisfacer la demanda (218 pacientes por año), trabajando de lunes a viernes y con dos turnos de trabajo.

La capacidad de producción y velocidad de impresión de la máquina es apta para cumplir la demanda de piel impresa requerida por los pacientes, pues la bioimpresora produciría los 2.400 cm<sup>2</sup> de piel en 15 horas y 45 minutos incluyendo las puestas a punto de las máquina, cubriendo así la demanda de un mes en menos de un día.

Paso	Fabricación	Operación	Almacenamiento	Inspección	Espera	Descripción de la operación	Característica del producto	Característica del proceso	Tiempo (seg)	Equipos
1	◇	○	△	□	D	Biopsia del paciente o donante	Trozo de piel de tamaños de un sello	Extracción de células.10.000 aproximadamente	600	Sacabocados, nitrógeno líquido
2						Separación de células	Vista microscópica de la cantidad de células existentes.	Aislamiento de las células de la dermis y epidermis	10800	Microscopio invertido, placas Petri, Cabina de seguridad biológica, centrifuga de sobremesa, autoclave, raspadores celulares, buffer de incubación, buffer de estabilización
3						Multiplicación de las células del paciente	Multiplicación de las células en 250.000.000 de células para cubrir medio cuerpo humano	Células se cultivan en un laboratorio bajo temperatura óptima	21600	Pipetas, bioreactor, incubadora, microscopio invertido, baño termostático, contador eléctrico de células, placas petri, frascos de cultivo, placas tratadas, raspadores celulares

4	Adquisición de la imagen de la herida	Imagen del tejido de la piel, tamaño y profundidad	Extracción mediante imágenes médicas	1800	Equipos para imágenes médicas
5	Extracción de datos de la imagen	Diseño del tejido del tamaño exacto de la herida del paciente	Extracción de los datos gracias a un software	2700	Software de diseño de tejidos
6	Preparación de biotintas	Células de la dermis y epidermis sobre un hidrogel	Las células se reparten clasificadas en cuatro jeringas.	600	Jeringas gruesas, raspadores celulares, agitador vórtex, contador eléctrico de células, pipetas, cabina de seguridad biológica, bioreactor.
7	Jeringas controladas	Cantidad necesaria de células, proteínas y factores de crecimiento	Las jeringas se colocan en la bioimpresora.	120	Bioimpresora
8	Impresión 3D de piel	Impresión de gotas de células de la piel capa a capa sobre placas petri según diámetro de la jeringa	Software que dirige a la bioimpresora	422,5	Laptop, software, bioimpresora, placas petri, cabina de seguridad biológica
9	Curtir la piel impresa	Capa fina como una oblea. Flexible	Tratamiento de la piel en una especie de incubadora calentada a 37 grados centígrados.	300	Incubadora
10	Control de calidad	Apariencia y textura gelatinosa	Bioingenieros estiran la piel, la levantan comprobando que no se rompa ni se deforme.	60	Pinzas quirúrgicas, guantes, placas petri, cabina de seguridad biológica.

**Figura 5. Diagrama de flujo de proceso para la bioimpresión de piel**

#### H. Distribución de Planta

Se requieren 7 salas específicas para las actividades y para llevar a cabo el proceso. Las áreas definidas son: sala de instrumentación, sala de preparación, sala de ingeniería tisular, sala biomolecular y cultivos celulares: sala de microscopia, formación de imagen y bioimpresión, además de sala de almacenaje, área de investigación.

#### I. Rentabilidad económica de piel humana impresa en 3D Inversiones

La inversión inicial que corresponde a la adquisición de los activos fijos o bienes duraderos que son indispensables para bioimpresión es de \$. 95.249.09, con esta inversión se garantiza la compra de los equipos de impresión descritos en la figura 6.

#### J. Punto de equilibrio

Se ha determinado que el precio mínimo de venta de una placa de piel ( $169 \text{ cm}^2$ ) deberá ser de \$1012,04. Por otro lado, para que la utilidad producida sea igual cero, se debe vender \$303.611,26 durante el primer año, generando un equilibrio entre la cantidad de egresos e ingresos.

#### K. Flujo de fondos

A partir del análisis de inversiones y punto de equili-

brio, se establece el flujo de fondos desde el primer año de implementación del proyecto es positivo, lo que significa que los ingresos han superado los gastos totales, generando utilidad para el negocio, teniendo un flujo de fondos acumulado al quinto año de \$ 935.583,61.

#### L. Tasa Interna de Retorno (TIR)

El cálculo de la TIR es del 100.15%. Esta tasa se compara con la tasa de interés y se realiza la aceptación del proyecto bajo algunos criterios, en este caso al ser mayor el valor obtenido de la TIR, el proyecto de inversión se acepta. Se ha realizado el análisis con la tasa mínima de inversión pública igual a 8,48%

#### M. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN calculado es de \$ 597.315,06, el cual es mayor que cero, por lo cual el proyecto de inversión estaría aceptado.

#### N. Retorno de Inversión (ROI)

El primer año se tiene una pérdida de un 88% de la inversión, para el año 2 se tiene un 63% de retorno de la inversión, el tercer año muestra un poco más del doble de lo invertido, el año 4 indica un 145% de retorno, y finalmente para el año 5 se tiene el triple de la inversión con un 218%. Con un precio de venta de USD 1200 por unidad, se obtendrán ganancias.

## V.CONCLUSIONES

El servicio de implantación de piel humana bioimpresa a nivel mundial se encuentra en análisis y procesos de aprobación dado que esta puede emplearse para múltiples otros fines. La tecnología existente oferta máquinas de impresión de piel con toda la funcionalidad que se requiere en un paciente, incluyendo aspectos como la pigmentación y elasticidad.

La implementación de este servicio en el área de salud del Ecuador, apoyará la mejora de la calidad de vida de los pacientes con afectaciones dérmicas presentando un gran impacto-económico y social para recursos del estado para el caso del hospital público Eugenio Espejo.

El personal requerido para potenciar este servicio son Bioingenieros, Biólogos moleculares y celulares, Ingenieros en Biotecnología, Ingenieros Tisulares y Biomédicos, los mismos que según la base de profesionales del Senescyt [27], existen en el país. Que además formados en sus áreas respectivas en instituciones de renombre mundial.

Se presenta una rentabilidad superior al 8,48% obtenida según, un TIR de 110.15% y VAN de \$597.315.06. Lo cual indica la factibilidad del proyecto para este hospital dado que es uno de los que más pacientes atiende por encima de todas las demás entidades privadas de la región. Además, la baja competencia del proyecto, en un inicio, puede mejorar aún más este aspecto.

El procedimiento de bioimpresión 3D resulta beneficioso también para heridas que superan el 20% de afectación, pues evitaría principalmente la extracción de grandes cantidades de injertos y sobre todo la presencia de áreas cruentas que tardan meses en recuperación, las mismas que resultan dolorosas para el paciente que lo padece.

## REFERENCIAS

[1]M. Crawford, «Artificial and 3D-Printed Skin Advances for Robots, Humans,». Available: <https://www.asme.org/topics-resources/content/artificial-3dprinted-skin-advances-robots-humans>. [Último acceso: 2020 02 20].

[2]CITIUS, «Servicio General de Biología», [En línea], Available: <http://servicio.us.es/sgbmcitius/laboratorio-cultivos-celulares.html>, [Último acceso: 2020 02 20].

[3]Fundación Instituto ROCHE, Bioimpresión en la medicina del futuro, 2019.

[4]C. Yunga, «Anuario de Estadística de Salud: Recursos y Actividades», INEC, 2014..

[5]Ministerio de Salud Pública del Ecuador, «Hospital de Especialidades Eugenio Espejo», 4 7 2018. [En línea]. Available: <http://hee.gob.ec/?p=12379>. [Último

acceso: 4 2 2020].

[6]P. Rego, «Creando piel humana sin pelo con una impresora 3D,» 19 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.elmundo.es/cronica/2018/10/19/5bc0d6ef-22601d2b498b458c.html>. [Último acceso: 22 2 2020].

[7]C., G. (diciembre de 2016). Bioimpresoras 3D como herramienta de innovación en el futuro de trasplantes de órganos. [En línea]. Available: <https://www.reci.org.mx/index.php/reci/article/view/53/244>, [Último acceso: 18 2 2020].

[8]M. Romero, «IMpresión 3D en medicina,» 2019.

[9]S-S. Yoo, «3D-printed biological organs: medical potential and patenting opportunity». *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 25(5), 507–511, 2015, doi:10.1517/13543776.2015.1019466

[10]ALL3DP, «Craftcloud,» 25 1 2018. [En línea]. Available: <https://all3dp.com/researchers-use-3d-bioprinting-add-pigmentation-engineered-skin-tissues/>. [Último acceso: 23 2 2020].

[11]A. M., «3Dnatives,» 18 02 2020. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/poietis-primer-ensayo-clinico-piel-bioimpresa-18022020/>. [Último acceso: 20 02 2020].

[12]I. Ozbolat, K.. Moncal, & H. Gudapati.. *Additive Manufacturing. Evaluation of bioprinter technologies*, 181,184, 15 de Octubre de 2016, Pennsylvania, USA

[13]3D NATIVES, « ¿Es la bioimpresión el futuro de la medicina a medida? », 3D NATIVES, 18 de Mayo de 2017, [En línea], Available: <https://www.3dnatives.com/es/bioimpresionfuturo-medicina-18052017/>

[14]S. Derakhshanfar, R.M. Xu, X. Zhang, W. Zhong, & M. Xing,. «3D bioprinting for biomedical devices and tissue engineering: A review of recent trends and advances. *Canadá*», 20 de Febrero de 2018.

[15]E. Bishop, S. Mostafa, M. Pakvasa, & J. Mariatis,. «3-D bioprinting technologies in tissue engineering and regenerative medicine: Current and future trends». *Science Direct*, 4, 188-190. 22 de Noviembre de 2017, Chicago, EEUU

[16]SALUS, (2017, 02, 21) «Revista Intersanitaria Nacional. Obtenido de Imprimiendo piel humana», [En línea], Available: <https://revistasalus.com/2017/02/21/imprimiendopiel-humana/>, [Último acceso: 19 02 2020].

[17]EFE,. (2017, 01, 23)«Científicos españoles diseñan una bioimpresora 3D de piel humana», 23 de 01 de 2017, [En línea], Available: <http://www.efes.com/efe/espana/sociedad/cientificos-espanoles-disenan-una-bioimpresora-3d-de-piel-humana/10004-3156604>, [Último acceso: 18 02 2020].

[18]3D Natives, «Tissue Scribe 3D», 26 de 10 de 2017 Available: <https://www.3dnatives.com/es/tissue-scribe-3d-26102017/> [Último acceso: 23 2 20].



[19] 3D NATIVES, (2017, 05, 18) «¿Es la bioimpresión el futuro de la medicina a medida? », [En línea], Available: <https://www.3dnatives.com/es/bioimpresionfuturo-medicina-180520172/> [Último acceso: 22 2 20]

[20] Imprimalia 3D, «Bioimpresoras 3D para tejidos humanos, 17 de Septiembre de 2013», [En línea], Available: <http://imprimalia3d.com/noticias/2013/09/28/0030/bioimpresoras3d-para-tejidos-humanos>

[21] Albanna Mohammed, «In Situ Bioprinting of Autologous Skin Cells Accelerates Wound Healing of Extensive Excisional Full Thickness Wounds». En Scientific Reports (págs. 2-3). EEUU, 2019

[22] C. Yunga, «Anuario de Estadística de Salud: Recursos y Actividades». INEC, 2014

[23] É. Rodríguez, Interempresas. «Obtenido de Bioimpresión 3D de nuevos tejidos para medicina regenerativa», 2 de Enero de 2018, [En línea] Available: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/206293-Bioimpresion-3D-denuevos-tejidos-para-medicina-regenerativa.html>, [Último acceso: 22 2 20]

[24] A. Sevilla, «Economipedia». Available: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>, [Último acceso: 23 2 20]

[25] S. Vijayavenkataraman, W. Lu, & H. Fuh, «Biofabrication. 3D bioprinting of skin: a state-of-the-art review on modelling, materials, and processes», 1. Singapore, 2016

[26] R. Gallo, «FabLab Yachay», 2 de Mayo de 2016

[27] Secretaría Nacional de Educación, Ciencia, Tecnología. (s.f.). Available: <https://www.educacionsuperior.gob.ec/>, [Último acceso: 23 2 23]



**Mauricio Fuentes**, Ingeniero Mecánico de la Escuela Politécnica Nacional. Magister en Gestión de la Calidad y Productividad en la Escuela Politécnica del Ejército. Docente e Investigador de la Universidad Central del Ecuador. Candidato a PhD universidad Politécnica de Valencia.



**Omar Flor**, Ingeniero Mecánico de la Escuela Politécnica del Ejército, Máster en Automática, Robótica y Telemática en la Universidad de Sevilla-España, docente e investigador en la Universidad de las Américas en Quito-Ecuador.



**Melissa Correa**, Egresada de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad de las Américas en Quito-Ecuador. Con participación destacada en el primer foro de CEBIO y congreso internacional de Biotecnología UDLA. Desarrollo de proyectos en Biorreactores de inmersión temporal y fotobiorreactores presentados a nivel internacional.

## RESUMEN CURRICULAR



**Daniela Rodríguez**, Ingeniera en Diseño Industrial graduada en la Universidad Central del Ecuador, Auditora interna Integrado ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018 de Burea Veritas Ecuador S.A



**Andrea Villalobos** Académica en la Universidad Central del Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, Universidad Técnica de Ambato. Ingeniera en Diseño Gráfico Publicitario. Maestría en Arquitectura de la Información en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ambato. Profesora investigadora a tiempo completo en la Universidad Central del Ecuador, con experiencia en docencia en Diseño en varias Universidades de Quito y Ambato, Universidad Politécnica de Valencia con el tema de Diseño Emocional, Diseño de Experiencias.